

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль  
«Оборудование и технология сварочного производства»

Кафедра «Сварочное производство»

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

| Тема работы   |
|---|
| Разработка состава сварочной порошковой проволоки, содержащей нанодисперсные компоненты |

УДК 621.791.04

Студент

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 10А42  | Гусаров Д.Е. |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры СП | Зернин Е.А. | К.Т.Н.                    |         |      |

Нормоконтроль

| Должность | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент    | Крюков А.В. | К.Т.Н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Нестерук Д.Н. | -                         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                      | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Заведующий кафедрой<br>БЖДЭиФВ | Солодский С.А. | К.Т.Н.                    |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| И.о. зав. кафедрой         | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Сварочного<br>производства | Ильященко Д.П. | К.Т.Н.                    |         |      |

Юрга – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

| Код результатов | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)  |
|-----------------|--|
| P1              | Демонстрировать базовые естественнонаучные, математические знания, знания в области экономических и гуманитарных наук, а также понимание научных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности   |
| P2              | Применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире.  |
| P3              | Применять базовые и специальные знания в области современных информационных технологий для решения задач хранения и переработки информации, коммуникативных задач и задач автоматизации инженерной деятельности  |
| P4              | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности   |
| P5              | Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, знания в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на предприятиях машиностроения и смежных отраслей.   |
| P6              | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на производственных предприятиях и в отраслевых научных организациях.                                  |
| P7              | Использовать законы естественнонаучных дисциплин и математический аппарат в теоретических и экспериментальных исследованиях объектов, процессов и явлений в машиностроении, при производстве иных металлоконструкций и узлов, в том числе с целью их моделирования с использованием математических пакетов прикладных программ и средств автоматизации инженерной деятельности |

| Код результатов | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   |
|-----------------|---|
| P8              | Обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроения, металлоконструкций и узлов для нефтегазодобывающей отрасли, горного машиностроения и топливно-энергетического комплекса, а также опасных технических объектов и устройств, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов и деталей.                  |
| P9              | Осваивать внедряемые технологии и оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия   |
| P10             | Проводить эксперименты и испытания по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий, в том числе с использованием способов неразрушающего контроля  |
| P11             | Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий машиностроения, иных металлоконструкций и узлов.   |
| P12             | Проектировать изделия машиностроения, опасные технические устройства и объекты и технологические процессы их изготовления, а также средства технологического оснащения, оформлять проектную и техно-логическую документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и с учетом требований ресурсоэффективности, производительности и безопасности |

| Код результатов | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   |
|-----------------|---|
| P13             | Составлять техническую документацию, выполнять работы по стандартизации, технической подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов, организовывать метро- логическое обеспечение технологических процессов, подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества на предприятии. |
| P14             | Непрерывно самостоятельно повышать собственную квалификацию, участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности, основанные на систематическом изучении научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, проведении патентных исследований.                           |

Студент гр. 10А42  
Руководитель ВКР

Гусаров Д.Е.  
Зернин Е.А.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль  
«Оборудование и технология сварочного производства»

Кафедра «Сварочное производство»

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. зав. кафедрой

Д.П. Ильященко

(Ф.И.О.)

(Подпись)

(Дата)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

|                  |
|------------------|
| Дипломный проект |
|------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 10А42  | Гусарову Денису Евгеньевичу |

Тема работы:

|   |
|---|
| Разработка состава сварочной порошковой проволоки, содержащей нанодисперсные компоненты   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Утверждена приказом<br/>(директора) (дата, номер)</div> <div>проректора-директора</div> <div>25.01.2018 г. № 7/с</div> </div> |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 08.06.2018 |
|--|------------|

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

|  |   |
|--|---|
| <b>Исходные данные к работе</b><br><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Материалы преддипломной практики  |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструкции; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке по работе).</i>                    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы.</li> <li>2. Объект и методы исследования.</li> <li>3. Результаты проведенного исследования.</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>5. Социальная ответственность.</li> </ol> |

|  |  |
|--|--|
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        | Цели и задачи,<br>Экспериментальные и расчетные данные исследований,<br>Выводы по работе |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |  |
| <b>Раздел</b>  | <b>Консультант</b>   |
| Технологическая и конструкторская часть  | Зернин Е.А.  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                    | Нестерук Д.Н.  |
| Социальная ответственность   | Солодский С.А.   |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>                       |  |
| Реферат  |  |
|  |  |
|  |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 25.01.2018 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность         | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры СП | Зернин Е.А. | К.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 10А42  | Гусаров Д.Е. |         |      |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Юргинский технологический институт

Направление подготовки (специальность) 15.03.01 «Машиностроение», профиль «Оборудование и технология сварочного производства»

Кафедра «Сварочное производство»

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017 – 2018 учебного года)

Форма представления работы:

|  |
|--|
| <b>Дипломный проект</b>  |
| (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации) |

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| Срока сдачи студентом готовой работы | 08.06.2018 |
|--------------------------------------|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля)/<br>Вид работы (исследования)            | Максимальный балл<br>раздела (модуля) |
|---------------|--|---------------------------------------|
| 25.01.2018    | Обзор литературы   | 20                                    |
| 23.02.2018    | Объекты и методы исследования                                      | 20                                    |
| 28.03.2018    | Расчет и аналитика   | 20                                    |
| 20.04.2018    | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и<br>ресурсосбережение | 20                                    |
| 15.05.2018    | Социальная ответственность   | 20                                    |

**Составил преподаватель:**

| Должность         | ФИО         | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры СП | Зернин Е.А. | К.Т.Н.                    |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| И.о. зав. кафедрой         | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Сварочного<br>производства | Ильященко Д.П. | К.Т.Н.                    |         |      |

Юрга – 2018г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| Группа | ФИО                      |
|--------|--------------------------|
| 10А42  | Гусаров Денис Евгеньевич |

|                        |                                       |                           |                        |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Институт               | Юргинский<br>технологический институт | Кафедра                   | Сварочное производство |
| Уровень<br>образования | Высшее                                | Направление/специальность | Машиностроение         |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

*Состав порошковой проволоки*

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. *Определение себестоимости изготавливаемой порошковой проволоки*
2. *Расчет стоимости одного метра ленты*
3. *Расчет стоимости одного килограмма шихты*
4. *Расчет стоимости готовой проволоки с разным процентным составом*
5. *Зависимость цены от состава*
6. *Сравнение цен изготавливаемой проволоки с уже имеющимися аналогами*

*При необходимости представить эскизные графические материалы к расчетному заданию*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО           | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент | Нестерук Д.Н. | -                         |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 10А42  | Гусаров Д.Е. |         |      |



## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|        |              |
|--------|--------------|
| Группа | ФИО          |
| 10А42  | Гусаров Д.Е. |

|                        |                                       |                           |                        |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Институт               | Юргинский<br>технологический институт | Кафедра                   | Сварочное производство |
| Уровень<br>образования | Высшее                                | Направление/специальность | Машиностроение         |

| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:  |  |
|--|--|
| 1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: | Вредные и опасные производственные факторы, возникающие в лаборатории кафедры сварочного производства ЮТИ НИ ТПУ.  |
| Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме  |  |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:   |  |
| 2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:                 | Действие выявленных вредных факторов на организм человека. Допустимые нормы (согласно нормативно-технической документации). Разработка коллективных и рекомендации по использованию индивидуальных средств защиты. |
| 3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:                 | Источники и средства защиты от существующих на рабочем месте опасных факторов (электробезопасность, термические опасности и т.д.).   |
| 4. Охрана окружающей среды:  | Вредные выбросы в атмосферу.   |
| 5. Защита в чрезвычайных ситуациях:  | Перечень наиболее возможных ЧС на объекте. Пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).   |
| 6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:  | Проектирование системы или устройств, улучшающих условия труда.  |

|  |            |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 25.01.2018 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность              | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Зав. кафедрой БЖД и ФВ | Солодский С.А. | к.т.н.                    |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата |
|--------|--------------|---------|------|
| 10А42  | Гусаров Д.Е. |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 69 с., 9 рис., 14 табл., 27 источников.

Ключевые слова: сварка, наплавка, порошковая проволока, нанопорошок, структура металла, механические свойства.

Объектом исследования является наплавка порошковой проволоки с введенным в шихту нанопорошком вольфрама.

Цель работы – определение влияния нанопорошков в составе шихты порошковой проволоки на твердость наплавленного металла.

В процессе работы проводились экспериментальные исследования на реальном объекте. Во время проведения эксперимента выполняли наплавку валика на пластину из стали Ст3пс толщиной 5 и 10 мм сварочной порошковой проволокой, изготовленной из шихты 5 разных составов, используя TIG сварку.

Новизной работы является применение нанопорошка в производстве порошковой проволоки, а также ее влияние на свойства наплавленного металла.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013 и представлена на диске CD-R (в конверте на обороте обложки).

## Abstract

Final qualifying work 69 p. , 9 Fig., 14 table., 27 sources.

Keywords: welding, surfacing, powder wire, nanopowder, metal structure, mechanical properties.

The object of research is the surfacing of flux-cored wire with tungsten nanopowder introduced into the charge.

The purpose of the work is to determine the effect of nanopowders in the composition of the powder wire charge on the hardness of the deposited metal.

In the process of work, experimental studies were conducted on a real object. During the experiment, the roller was surfaced on a plate made of St3ps steel with a thickness of 5 and 10 mm by welding flux-cored wire made of 5 different compositions using TIG welding.

The novelty of the work is the use of nanopowder in the production of cored wire, as well as its impact on the properties of the deposited metal.

The final qualifying work is made in a text editor Microsoft Word 2013 and is presented on a CD-R (in an envelope on the back cover).

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использовались ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 380-2005 – Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
- ГОСТ 26101-84 – Проволока порошковая наплавочная. Технические условия.
- ГОСТ 15150-69 – Машины, приборы и другие технические изделия.
- ГОСТ 12.2.033-81 – Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

## Оглавление

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 16 |
| Цель и задачи исследования  | 18 |
| 1. Обзор литературы   | 19 |
| 1.1 Современное состояние нанопорошков  | 19 |
| 1.2 Методы получения нанопорошков   | 21 |
| 1.3 Применение нанопорошков в сварочном производстве  | 23 |
| 1.4 Влияние нанопорошков на процесс сварки  | 25 |
| 1.5 Свойства и структура металла при применении нанопорошков  | 27 |
| 2. Методика проведения экспериментальных исследований по наплавке валиков порошковой проволокой и определения твердости | 32 |
| 3. Конструкторский раздел   | 34 |
| 3.1 Разработка конструкции для изготовления порошковой проволоки  | 34 |
| 3.2 Подготовка материалов для порошковой проволоки  | 36 |
| 3.3 Сварочное оборудование и режимы сварки  | 41 |
| 4. Результаты проведенных исследований  | 44 |
| 4.1 Проведение испытаний и оценка результатов   | 44 |
| 4.2 Заключение  | 48 |
| 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение  | 49 |
| 5.1 Определение затрат на основные материалы  | 49 |
| 5.2 Заключение  | 53 |
| 6. Социальная ответственность   | 54 |
| 6.1 Описание рабочего места   | 54 |
| 6.2 Анализ выявленных вредных факторов  | 54 |
| 6.3 Анализ выявленных опасных факторов  | 56 |
| 6.3.1 Обеспечение требуемого освещения в лаборатории  | 57 |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 6.3.2 Обеспечение оптимальных параметров микроклимата в лаборатории. Вентиляция и кондиционирование | 59                       |
| 6.3.3 Разработка методов защиты от вредных и опасных факторов                                       | 60                       |
| 6.4 Охрана окружающей среды   | 61                       |
| 6.5 Защита в чрезвычайной ситуации  | 62                       |
| 6.6 Заключение  | 64                       |
| Заключение  | 65                       |
| Список использованных источников  | 66                       |
| Диск CD-R   | В конверте на<br>обложке |
| Графический материал  | На отдельных<br>листах   |
| Титульный лист  | Демонстрационный<br>лист |
| Актуальность работы   | Демонстрационный<br>лист |
| Цель и задачи исследования  | Демонстрационный<br>лист |
| Компоновочная схема установки для изготовления порошковой проволоки                                 | Демонстрационный<br>лист |
| Этапы формирования порошковой проволоки   | Демонстрационный<br>лист |
| Схема процесса сварки и микрошлифы  | Демонстрационный<br>лист |
| Влияние нанопорошка на твердость наплавленного металла  | Демонстрационный<br>лист |
| Основные выводы по работе   | Демонстрационный<br>лист |
| Апробация работы  | Демонстрационный<br>лист |

## Введение

Двадцатый век — это время перехода от машинно-технической революции к научно-технической, что говорит о использовании наукоемких технологий как о начале существования промышленности. На заре третьего века значимая база существования промышленности перешла на использование высокотехнологичных процессов.

Сварка представляет собой процесс, который позволяет путем нагрева поверхностей материалов создать неразъемное соединение.

Оборудование и технология сварочного производства включают в себя современные разработки способов сварки. Этот процесс активно используется во всех промышленных сферах, сварка ведется с любыми материалами — металлом, пластиком и керамикой.

Современное оборудование и технологии сварочного производства позволяют получить качественные сварные швы и обеспечить надежный и безопасный технологический процесс. Новейшее оборудование для сварки отличается высоким КПД, мощностью, функциональностью. Аппараты оснащаются многими удобными функциями, в частности системами плавной регулировки тока и скорости работы [1].

Конечным продуктом сварочного производства являются сварные конструкции. Большинству металлоконструкций приходится работать в ударного, повторного и знакопеременного нагружения, в диапазоне положительных и отрицательных температур, а так же в коррозионно-активных средах. Изобретение долговечных и надежных сварных конструкций, работающих в различных эксплуатационных условиях, является одной из значимых научно-технических задач. Как правило, у трущихся деталей происходит износ поверхности. Изготовление новой детали бывает не всегда возможным или дорогостоящим. Рациональным решением в таких ситуациях бывает ремонт путем наплавки поверхности. Придание прежних или же



получение новых, более высоких прочностных и эксплуатационных характеристик, повышения ресурса и эксплуатационной надежности возможно с применением наноразмерных материалов. Поскольку использование наноразмерных материалов в производстве мало изучено, то актуальностью работы стоит вопрос о использовании нанопорошков при получении сварочных материалов, а именно, при изготовлении порошковой проволоки [2].

## Цель и задачи исследования

### Цель работы:

1. Определить влияние нанопорошка вольфрама (W) на свойства наплавленного металла

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать и сконструировать установку для изготовления порошковой проволоки

2. Изготовить экспериментальные образцы порошковой проволоки

3. Экспериментально исследовать влияние нанопорошка на твердость наплавленного металла.

## 1. Обзор литературы

### 1.1 Современное состояние нанопрошков

Нанотехнологии – это новейшее направление науки и технологии, которые активно развиваются в последние десятилетия. Нанотехнологии включают создание и использование материалов, технических систем и устройств, функционирование которых определяется наноструктурой, т.е. ее упорядоченными зернами размером от 1 до 100 нанометров. С наступлением XXI столетия невероятно быстрое развитие получили нанотехнологии и наноматериалы, которые используются в наиболее важных областях деятельности человека, во всех передовых странах планеты. Большое количество научных трудов, опубликованных по тематике, связанной с наноразмерными материалами, скорость внедрения фундаментальных и поисковых разработок, анализ роста финансовых вложений в данную область, демонстрируют высокую значимость нанотехнологий и наноматериалов, которые в ближайшие десятилетия будут являться одним из основных факторов оборонного, научного и экономического развития государств [4].

Весьма трудно определить количество научных статей и публикаций, затрагивающих тему наноматериалов и нанотехнологий, т.к. по данной проблематике только за несколько последних лет было опубликовано около 15-25 тысяч статей, что является достаточно показательным фактором.

В число основных потребителей наноразмерных материалов входит машиностроение, в котором проводится внедрение технологий нанесения износостойких покрытий, уделяется большое внимание наноструктурированной продукции и оборудованию для обработки деталей с нанометровой точностью. При этом улучшение качественных показателей может быть достигнуто как посредством введения наноразмерных добавок при осуществлении конкретного техпроцесса так и за счет соответствующих режимов [4].

Заинтересованность к наноструктурам в первую очередь сегодня связана с получением материалов с новыми физико-химическими свойствами. Привлекательной чертой наносистем является регулирование физического отклика материала в зависимости от размер частиц. Становится очевидно, что возможно получение давно известных материалов с новыми свойствами и возможность применения их в новых областях благодаря контролю размера и формы частиц на наноуровне.

Дальнейшее современное развитие промышленности не представляется возможным без применения новых высокочистых материалов с улучшенными свойствами. К этим материалам можно отнести нанокристаллические и сублимированные порошки оксидов, металлов и др. Производство нанопорошков в промышленных масштабах началось не более 10 лет назад. Основными потребителями нанопорошков металлов, оксидов в мире является строительная индустрия и электроника.

Большие усилия в последние годы были направлены на создание наночастиц заранее необходимых размеров и форм, было множество разных синтетических подходов, которые имели свои преимущества и недостатки.

Актуальной частью современной науки является исследование и получение свойств ультрадисперсных порошков разных веществ. Во-первых, это является практической необходимостью изобретения новых материалов, а это в ряде случаев является возможным только с ультрадисперсных составляющих; во-вторых, задача изучения малых частиц, в частности размеры которых менее 100 нанометров, является одной из частей наиболее общей фундаментальной области науки, собирательно называемой «Нанотехнология».

В процесс производства нанопорошков разрабатывают и используют различные технологии производства, которые основываются на новейших достижениях науки. Основной задачей является внедрение малозатратных и высокоэффективных способов изготовления ультрадисперсионных порошков. Изучение ультрадисперсионных материалов таким образом является достаточно современной и перспективной задачей [4].

## 1.2 Методы получения нанопорошков

Возможности использования нанопорошков с измененными свойствами (низкие температуры спекания ( $t < 100^{\circ}\text{C}$ ), высокая химическая активность, наличие избыточной энергии (запасенной)) на прямую связаны с использованием технологии их изготовления. Основными способами являются физические, химические и механические методы.

Химические методы изготовления нано структурированных порошков, делятся, как правило, на различные процессы:

- осаждение;
- пиролиз;
- термическое разложение;
- электроосаждение;
- газофазные химические реакции (гидролиз, восстановление).

Осаждение гидроксидов металлов из растворов солей проводится, в частности с помощью осадителей, в качестве которых применяются растворы щелочей калия и натрия позволяет достигать высокие скорости. Для достижения высокой скорости кристаллизации и обеспечения появления высокодисперсного гидроксида необходимо регулирование среды pH и температуры раствора. Гель-метод используется для получения нанопорошков разных металлов и заключается в осаждении металлических нерастворимых соединений из водных растворов гелей [5].

Следующим этапом после осаждения и сушки нано структурированных оксидов или гидроксидов является восстановление и термическое разложение. В зависимости от необходимых требований к продукту, используют газообразные (оксид, углерода, водород) или твердые восстановители. Метод позволяет изготавливать порошки игольчатой, сферической, чешуйчатой или неправильной формы.

Нано структурированные порошки Fe, Ni, W, Cu, Co и других металлов изготавливаются, например, восстановлением их оксидов водородом. В качестве твердых восстановителей применяют углерод, металлы или их гидриды.

Физические методы синтеза нанопорошков основаны на испарении металлов, сплавов или оксидов с последующей их конденсацией при контролируемых температуре и атмосфере. Фазовые переходы пар - твердое тело или пар - жидкость - твердое тело происходят в объеме реактора или на охлаждаемой подложке (стенках). Первоначальное вещество испаряется благодаря быстрому нагреву и с помощью газа-носителя подается в реакционное пространство для интенсивного охлаждения. Нагрев осуществляется при помощи лазерного излучения, плазмы, печей сопротивления, электрической дуги, индукционного тока и т.д. [6].

В зависимости от вида исходных материалов и получаемого продукта испарение и конденсация проводятся в вакууме, в потоке инертного газа или плазмы. Размер и форма частиц зависят от температуры процесса, состава атмосферы и давления в реакционном пространстве. Например, в атмосфере гелия частицы имеют меньший размер, чем в атмосфере более плотного газа - аргона. Метод позволяет получать порошки Ni, Mo, Fe, Ti, Al с размером частиц в десятки нанометров. Известен способ получения наноматериалов путем электрического взрыва проводников. Проволоки металла диаметром 0,1-1,0 мм помещают в реактор между электродами, на которые подается мощный импульс тока 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> А/мм<sup>2</sup>. Происходит мгновенный разогрев и испарение проволок. Пары металла разлетаются, охлаждаются и конденсируются. В результате получается нанопорошок. Процесс проводится в атмосфере гелия или аргона. Таким способом получают металлические (Ti, Co, W, Fe, Mo) и оксидные (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>) нанопорошки с частицами до 100 нм.

Механические способы получения нанопорошков основаны на измельчении веществ в мельницах (планетарных, шаровых, вибрационных, центробежных), атриторах, симолойерах и гироскопических устройствах.

Механически измельчают металлы, полимеры, оксиды, керамику и другие хрупкие материалы, причем важным фактором степени измельчения является их природа. Так например крупность частиц оксидов молибдена и вольфрама около 5 нм, для железа - около 10-20 нм. [5,6].

Преимуществом механических способов является сравнительная простота используемого оборудования и технологии, возможность измельчения большого количества различных материалов и изготовление порошков сплавов.

Недостатки - вероятность загрязнения материала истирающими материалами, трудность получения порошков с узким распределением частиц по размерам, сложность регулирования состава продукта.

Независимо от метода получения нанопорошки имеют общую особенность - склонность к образованию агрегатов и агломератов частиц. Считается, что в агрегатах кристаллиты более прочно связаны и имеют меньшую межкристаллитную пористость, чем в агломератах.

В химических методах для снижения степени агломерирования эффективно исключение воды из некоторых стадий процесса. Используются также методы уменьшения контакта между частицами путем их капсулирования.

Вышеназванная склонность наночастиц осложняет получение компактных материалов. В частности, чтобы преодолеть силы агломерирования, требуются большие механические усилия или повышение температуры спекания.

### 1.3 Применение нанопорошков в сварочном производстве

На сегодняшний день использование ручной дуговой и механизированной сварки занимает ведущее место в строительстве и машиностроительном производстве. Ручная дуговая сварка является наиболее распространенным и востребованным способом сварки. Данный способ

отвечает основным технологическими критериям и требованиям, а именно: обеспечивает выполнение качественных и аккуратных сварных соединений, с хорошими показателями прочности и функциональности. Для сварки и наплавки механизированным способом широкое применение набирают порошковые проволоки. Применение порошковой проволоки помогло решить задачи механизации наплавочный и сварочных работ на монтаже в полевых условиях и вот открытых цехах, увеличить производительность процессов от двух до пяти раз при высоком качестве сварных швов, а также снизить количество трудоемких ручных операций по очистке конструкций от брызг.

Порошковые проволоки являются сварочным материалом с высоким показателем производительности. В сравнении с проволокой сплошного сечения, преимущество порошковой проволоки состоит в том, что при равных сварочных токах, порошковая проволока имеет более высокую скорость подачи (примерно на 20-40%), чем проволоки сплошного сечения. По своей конструкции порошковые проволоки бывают вальцованные и бесшовные.

Использование при наплавке порошковой проволоки с шихтой, содержащей определенные компоненты, позволяет модифицировать наплавляемый металл компонентами, содержащимися в шихте проволоки и позволяет получить наплавленный металл равномерным распределением избыточных фаз и с мелкозернистой структурой, что обеспечивает нам его повышенную износостойкость. При легировании наплавляемого металла за счет компонентов шихты порошковой проволоки образуется перенасыщенный легирующими элементами твердый раствор алюминия, благодаря которому эксплуатационные характеристики наплавленного слоя металла выше, чем у основного.

На данный момент в современном машиностроении актуальным является вопрос об исследовании влияния нанодисперсных карбидов на механические свойства наплавленного металла. Нанодисперсные тугоплавкие соединения предполагается вводить в наполнитель порошковых проволок, которые применяются при наплавке деталей подверженных абразивному



износу, при сварке и наплавке теплоустойчивых сплавов и обеспечивают получение наплавленного металла с необходимыми свойствами. Испытания на термостойкость наплавленного металла свидетельствуют о том, что использование в наполнителе порошковых проволок нанодисперсных тугоплавких соединений повышает термическую стойкость наплавленного металла — увеличивается количество циклов нагрев-охлаждение до появления и развития сетки трещин разгара. Испытание на сопротивление абразивному износу показывают, что образцы, полученные с применением порошковой проволоки с определенным составом шихты, более износостойки, по сравнению с образцами, изготовленными стандартной порошковой проволокой [6].

#### 1.4 Влияние нанопорошков на процесс сварки

Для новых проектов в энергетике, в судо- и трубостроении, в нефте- и газодобыче, а также в области строения мостов требуется большое количество стали. При изготовлении новых металлоконструкций важное место занимает сварка. Развитие сварочной техники взаимосвязано с разработкой новых сварочных материалов. Главными целями при их создании являются:

- повышение производительности сварочного процесса;
- возможность сварки в разных пространственных положениях;
- высокие значения работы удара при низких температурах ( $-60^{\circ}\text{C}$ );
- в специальных случаях повышение предела прочности (выше  $1100\text{ Н/мм}^2$ ) и предела текучести наплавленного металла.

Анализ рынка на сегодняшний день показывает, что порошковая проволока является одним из самых перспективнейших материалов.

При сварке порошковой проволокой плавление и перенос металла имеет специфические особенности. Дуга и ее характеристики при сварки порошковой

проволокой сильно зависят от состава сердечника, электропроводность которого ниже по сравнению с металлической оболочкой. Активное пятно дуги по данной причине занимает не полное сечение проволоки, а находится на капле или оболочке расплавленного металла. Плавление сердечника происходит из-за излучения теплоты дуги и конвективного теплообмена разогретых газов, и расплавленного металла. Исходя из выше сказанного плавление оболочки происходит быстрее чем плавление сердечника при сваре порошковой проволокой. Явление отставания плавления сердечника от оболочки является не желательным и влечет за собой ухудшение показателей сварки и уменьшение эффективности защиты зоны сварки от воздуха. Так же замедленная скорость плавления сердечника отрицательно влияет и затрудняет сварку короткой дугой, кроме этого, части нерасплавленного сердечника при попадании в сварочную ванну засоряют шлаковыми включениями метал шва.

Кроме недостатков, которые усложняют процесс сварки порошковой проволокой, так же есть и преимуществ, которые можно выделить при сравнении с проволокой сплошного сечения:

- 1) возможность получения высоких показателей механических свойств сварного соединения при низкой температуре;
- 2) уменьшена склонность к возникновению трещин, особенно индуцированным водородом, в сварном соединении и металле шва;
- 3) высокие сварочно-технологические свойства;
- 4) малое разбрызгивание;
- 5) отсутствие необходимости дополнительной защиты;
- 6) увеличенная производительность процесса сварки (20-40%).

Технология и принцип изготовления порошковой проволоки в последние годы совершенствовалась, среди производителей создавалась серьезная конкуренция, что не только благоприятно сказывалось на цене, но и заставляло производителей решать задачи с отрицательными факторами во время сварки порошковой проволокой.

## 1.5 Свойства и структура металла при применении нанопорошков

Создание новых сварочных материалов с высокопрочной структурой, обеспечивающей их работу в экстремальных условиях при силовых и термических воздействиях, является актуальной задачей машиностроения в наше время. Известно, что модифицирование наплавленного металла и литых сплавов наночастицами тугоплавких химических соединений способствует повышению их эксплуатационных и технологических свойств. Поэтому все большее развитие получает технология сварки и наплавки с внедрением в сварочную ванну наночастиц тугоплавких соединений.

Известно, что добавление наноструктурированных частиц тугоплавких соединений в точном количестве, ведет к образованию мелкозернистой структуры сварного шва или наплавленного слоя, вследствие чего повышаются такие свойства как твердость и износостойкость.

Введение наноразмерных частиц тугоплавких соединений при механизированной или автоматической сварке, или наплавке можно осуществлять несколькими путями:

- введение наночастиц через защитный газ;
- введение наночастиц в состав порошковой проволоки;
- нанесение наночастиц на поверхность проволоки.

Для введения порошков ультрадисперсных частиц в покрытые электроды могут быть использованы следующие способы:

- добавление порошков в замешиваемую обмазку, перед нанесением на стержень;
- введение порошков-модификаторов в жидкое стекло.

В исследованиях влияния наноразмерных частиц тугоплавких соединений ученые достигли определенных результатов.

Так, например, в работе Г.Н.Соколова [8] в качестве наноразмерных компонентов, вводимых в состав наполнителей порошковых и композиционных

проволок при наплавке, были применены порошки карбонитрида титана TiCN с размером частиц от 80 до 500 нм. Для транспортировки наночастиц в сварочную ванну служили микрочастицы порошка никеля (99,9%) размером до 60 мкм, входящие в состав шихты порошковой проволоки. Внедрение наночастиц TiCN в частицы Ni осуществляли при их совместной обработке в планетарной мельнице, после которой были получены композиционные никелевые гранулы. Доля наночастиц в композиционных никелевых гранулах составляла 30 масс. % для TiCN. С применением полученных порошков были изготовлены порошковые и композиционные проволоки диаметром 3 мм с оболочкой из стали 08кп и с содержанием тугоплавких наночастиц равным 0,1 - 0,6 масс. %. Изготовленными проволоками методами электрошлаковой наплавки с использованием фторидного флюса АНФ-6 и аргонодуговой наплавки был получен слой наплавленного металла на основе железа: термостойкий азотосодержащий сплав 15X15H4AM3 [7].

Электронно-микроскопические исследования показанные на рисунке 1 выявили, что в аустенитно-мартенситной структуре сплава 15X15H4AM3, полученного аргонодуговой наплавкой с применением порошковой проволоки с добавлением тугоплавких наночастиц TiCN, значительно возрастает количество и повышается однородность распределения интерметаллидов сферической формы размером от 0,5 до 1,5 мкм. При этом в 2,5 раза уменьшается средний размер зерна по сравнению с исходной структурой, в то время как стойкость к деформации и растрескиванию при термоусталостных испытаниях повышается.

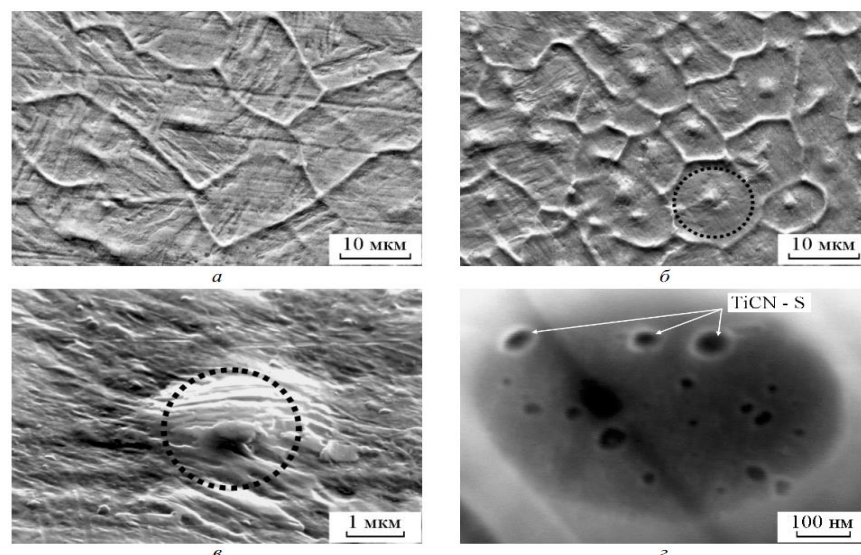


Рисунок 1 РЭМ изображения структуры аустенитно-мартенситного сплава 15X15H4AM3, наплавленного без использования (а) и с использованием наночастицTiCN (б-г), при различном увеличении.

Улучшение механических свойств сплавов, наплавленных с добавлением тугоплавких наночастиц, возможно объяснить формированием композиционной структуры, основным элементом которого следует считать интерметаллические соединения сферической формы. Электронно-микроскопические исследования приготовленных ионным травлением сечений этих интерметаллидов выявили наличие в них многочисленных скоплений наночастиц в пределах от 5 до 50 нм, расстояние между которыми варьировалось от 20 до 150 нм. Учитывая размер интерметаллидов, можно полагать, что количество содержащихся в них наночастиц составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч.

Целью работы А.А. Артемьева и Г.Н. Соколова [8] являлось исследование влияния наночастицTiCN, добавленных в порошковую проволоку, на формирование структуры искусственного композита и изучение свойств наплавленного электрошлаковым способом износостойкого слоя металла. Порошковую проволоку подавали в шлак АНФ-6 через полый электрод. Для модифицирования наплавленного металла в шихту экспериментальных порошковых проволок вводили до 2% (масс.)

композиционного порошка, состоящего из микропорошка никеля с размером частиц не более 60 мкм в количестве 70%(масс.) с внедренными в них ультрадисперсными тугоплавкими частицами TiCN с размерами не более 80 нм в количестве 30%(масс.).

Анализ проведенный металлографическим методом показал, что структурно-фазовый состав наплавленного металла с матрицей типа 20Х7Г12Н2 при различном содержании введенного в проволоку борида значительно различается. При содержании 28%(масс.)  $TiB_2$  структура металла заэвтектическая. Боридная эвтектика на основе остаточного аустенита и  $\alpha$ -Fe имеет микротвердость в пределах 12 – 15 ГПа.

Снижение массовой доли нанопорошка  $TiB_2$  в наполнителе проволоки до 18%(масс.) приводит к получению эвтектической структуры, характеризующейся пониженной микротвердостью (6.7 – 7.5 ГПа) и увеличенной дисперсностью. Твердость наплавленного металла также снижена и составляет 45 – 48 HRC.

При уменьшении содержания количества  $TiB_2$  в проволоке до 8%(масс.) структура наплавленного металла представляет собой зерна легированного аустенита с микротвердостью равной 4 – 5 ГПа, окруженные раздробленной боридной эвтектикой. При этом его твердость очень низкая – 17 – 20 HRC вследствие малого количества эвтектики в мягкой и пластичной аустенитной матрице.

Испытания образцов на абразивное изнашивание показали, что увеличение содержания  $TiB_2$  в 3.5 раза в шихте порошковой проволоки приводит только к 2.5 – кратному увеличению относительной износостойкости полученного в процессе сварки наплавленного металла.

Выявлено, что в процессе электрошлаковой наплавки происходит коагуляция и растворение определенного количества nano размерных частиц TiCN с дальнейшим возникновением колоний укрупненных до 1-3 мкм частиц неправильной формы. С использованием атомно-силовой микроскопии было выявлено, что в слое наплавленного металла находятся включения размером

15 - 50 нм. Некоторое количество частиц TiCN не подвергается растворению в расплаве и они служат центрами кристаллизации для других соединений титана. Также выявлено повышение относительной износостойкости более чем в 2 раза по сравнению с исходным сплавом и ее значение составило 12.6, что практически в пять раз больше чем соответствующая характеристика одного из лучших износостойкого промышленного сплава, наплавленного обычной пролокой ПП Нп-170М (15X15P3T2) [8].

Анализ результатов исследований выявил, что благодаря введению наноструктурированных порошков при дуговой сварке плавящимся электродом в сварочную ванну происходит:

- модифицирование слоя наплавленного металла;
- улучшение таких показателей как: ударная вязкость и твердость металла шва;
- уменьшение размеров зерен в структуре ЗТВ;
- улучшение свойств дуги;
- улучшение формирования сварного шва;
- повышение производительности процесса сварки.

Также, по результатам изучения соответствующей литературы, установлено, что введение в сварочную ванну при сварке или наплавке наноструктурированных частиц тугоплавких соединений способствует созданию мелкозернистой структуры металла вследствие образования центров кристаллизации наночастицами тугоплавких соединений.

Также введение тугоплавких частиц при наплавке обеспечивает повышение стойкости наплавленного слоя к абразивному изнашиванию [9].

## 2 Методика проведения экспериментальных исследований по наплавке валиков порошковой проволокой и определения твердости

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является получение порошковой проволоки с добавлением в шихту металлических нанодисперсных порошков.

В ходе выполнения данной работы в шихту порошковой проволоки ПП-АН5 добавляются металлические нанопорошки вольфрама (W). Цель данного исследования, выявить влияние наноматериалов на твердость наплавленного металла шва.

Для исследования и изучения влияния нанодисперсных порошков на свойства и структуру наплавленного металла была выбрана сварка неплавящимся электродом в среде аргона (TIG).

При проведении эксперимента сварку производили на образцах изготовленных из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества Ст3пс (ГОСТ 380 – 2005) в виде пластины, толщиной 5 и 10 мм. Содержание химических элементов показано в таблице 1, а механических свойств при  $T=20^{\circ}\text{C}$  показано в таблице 2.

Таблица 1 - Химический состав стали Ст3пс, % [10]

| C           | Si       | Mn       | S       | P       | Cr     | Ni     | Cu     | As      |
|-------------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| 0,14 - 0,22 | 0,15-0,3 | 0,4-0,65 | до 0,05 | до 0,04 | до 0,3 | до 0,3 | до 0,3 | до 0,08 |

Таблица 2 - Механические свойства при  $T=20^{\circ}\text{C}$  стали Ст3пс [10]

| $\sigma_{\text{в}}$ , МПа | $\sigma_{\text{т}}$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % |
|---------------------------|---------------------------|--------------|------------|
| 380 - 490                 | 205 - 255                 | 25           | 60         |



В ходе исследования проводили наплавку на пластины аргонодуговой сваркой с ручной подачей порошковой проволоки диаметром 2мм, 10 образцов с разным содержанием вольфрама в процентном соотношении 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.

Замеры твердости основного и наплавленного металла проводили комбинированным портативным твердомером МЕТ-УД по шкале Виккерса (HV). Метрологические характеристики твердомера МЕТ-УД показаны в таблице 3.

Таблица 3 - Метрологические характеристики твердомера МЕТ-УД

| Шкала твердости       | Диапазон измерений | Пределы допускаемой абсолютной погрешности твердомера |
|-----------------------|--------------------|---|
| Шкала "С"<br>Роквелла | (20-70) HRC        | $\pm 2$ HRC   |
| Шкала Бринелля        | (75-450) HB        | $\pm 12$ HB   |
| Шкала Виккерса        | (75-1000) HV       | $\pm 15$ HV   |
| Шкала Шора            | (23-102) HSD       | $\pm 3$ HSD   |

Для получения достоверного значения твердости необходимо провести 5 замеров твердости на каждом образце, как основного металла, так и наплавленного и определить среднее значение.

### 3 Конструкторский раздел

#### 3.1 Разработка конструкции для изготовления порошковой проволоки

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы была разработана, спроектирована и изготовлена установка для получения порошковой проволоки диаметром 2 мм. Компонентная схема показана на рисунке 2.

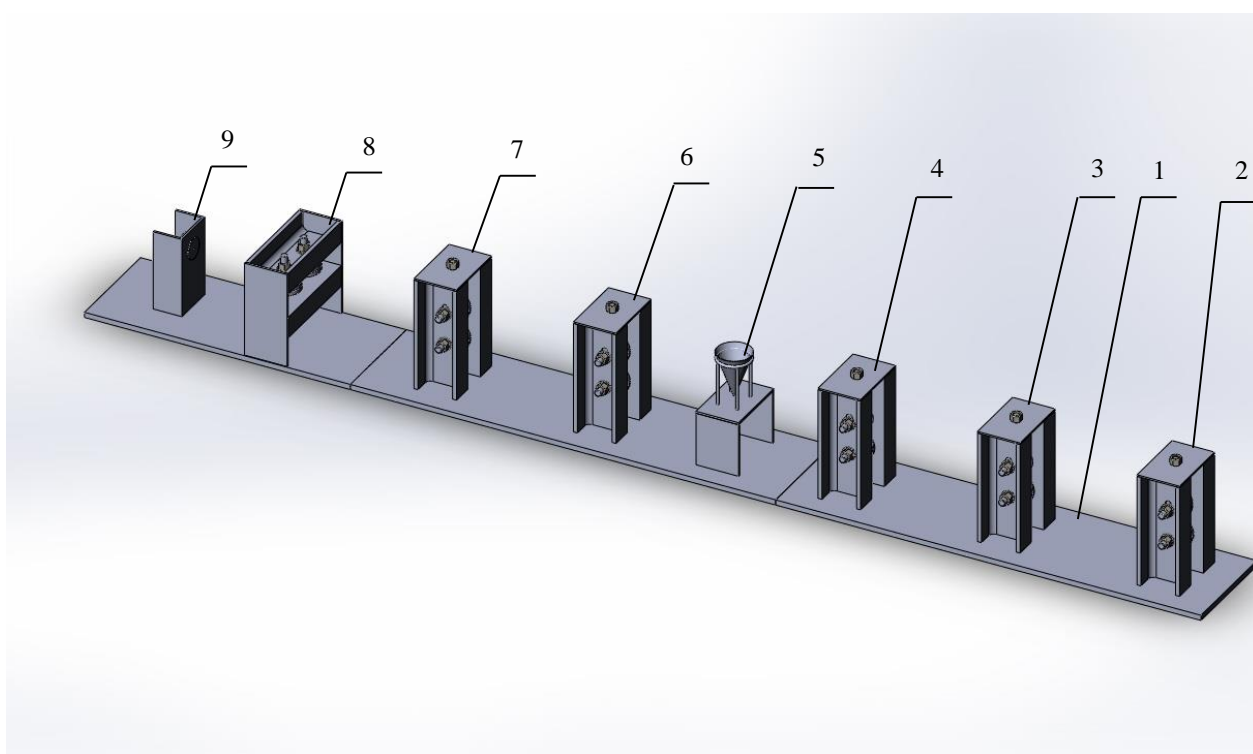


Рисунок 2 Компонентная схема установки для изготовления порошковой проволоки: 1 – Основание, 2 - Профилирующая клетка №1, 3 - Профилирующая клетка №2, 4 - Профилирующая клетка №3, 5 – Дозатор, 6 - Профилирующая клетка №4, 7 - Профилирующая клетка №5, 8 - Поджимающая клетка, 9 – Фильтр.

Сущность процесса получения порошковой проволоки: из подготовленной металлической ленты формируют путем прокатывания через профилирующую клетку 2,3,4 U – образный желобок, с постепенным

увеличением загиба. После чего при помощи дозатора 5 в желобок засыпается наполнитель с необходимым составом в нужном количестве. Далее происходит постепенное смыкание кромок в профилегибочной клети 6,7. Поджимающая клеть 8 обеспечивает закрытие замка, которое предотвратит высыпание наполнителя из проволоки. Сформированная заготовка порошковой проволоки подвергается на завершающем этапе волочению через формирующую фильеру 9. Где происходит получение необходимого типоразмера и дополнительное уплотнение наполнителя. Этапы формования ленты показаны на рисунке 3.

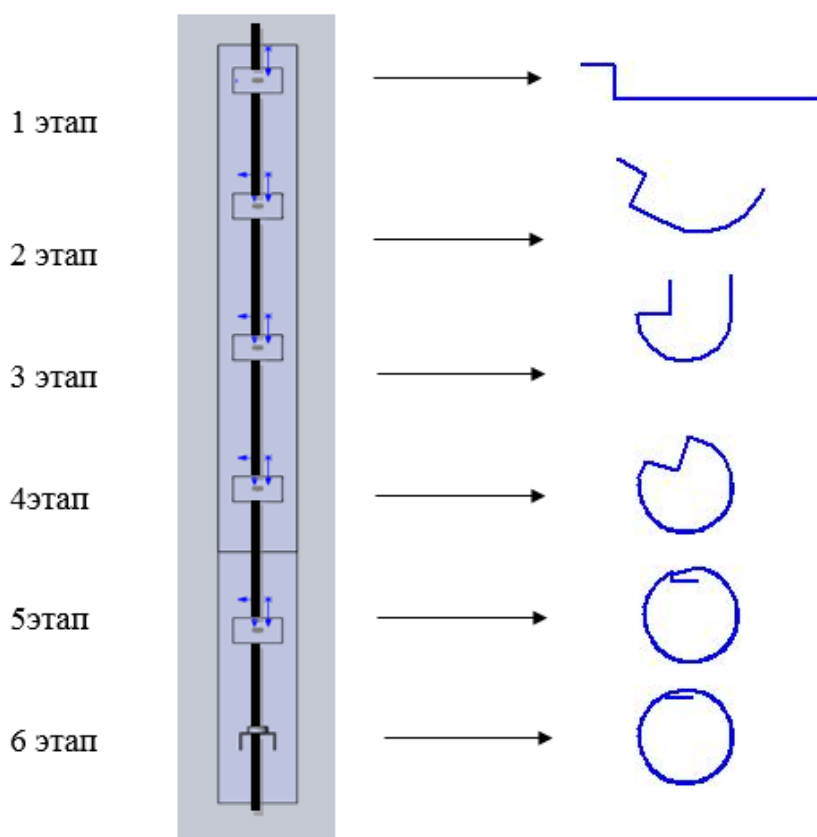


Рисунок 3 Этапы формования ленты для порошковой проволоки

#### Этапы формования

1 этап – прокатка ленты через ролики и получение ступени, которая будет служить в качестве замка для предотвращения высыпания шихты;

2 этап – постепенное предание ленте U - образной формы;

3 этап – получение U - образной формы и засыпание шихты, которая поступает из бункера;

4 этап – на данном этапе края ленты сгибаются до соприкосновения замка с противоположной частью ленты:

5 этап – на предпоследнем этапе формируется трубка заданной формы, с защелкнутым замком;

6 этап – протяжка ленты через фильеру для придания порошковой проволоке заданного диаметра.

### 3.2 Подготовка материалов для порошковой проволоки

В данной работе изготавливалась порошковая проволока для сварки в среде защитных газов с компонентным составом шихты, представленным в таблицах 4.

Таблица 4 – Компонентный состав проволоки с добавлением W, %

| Компонент шихты      | Содержание компонента шихты<br>наполнителя, масс. % |
|----------------------|---|
| Железная окалина     | 55  |
| Рутиловый концентрат | 18  |
| Плавикошпатовый      | 7   |
| Ферросилиций         | 8   |
| Ферромарганец        | 10  |
| Графит               | 1,7   |
| Вольфрам             | 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5;                            |

Подготовка шихты для порошковой проволоки включает в себя следующие этапы:

– выбор компонентов, входящих в шихту, исходя из требований к готовой порошковой проволоке;

– дробление выбранных компонентов, сушка и просев до необходимой фракции.

Гранулометрический состав порошков, который входит в шихту, находится в пределах 0,125 - 0,3 мм. Используя более мелкие частицы порошков, наблюдается значительное увеличение пористости наплавленного металла, так как увеличивается поверхность, на которой адсорбируется влага, которая вносится в сварочную ванну [11].

В результате бурного выгоранием мелких частиц в сварочной дуге также видно снижение благоприятных значений механических свойств наплавленного металла [11].

Верхний предел гранулометрического состава ограничивается появлением достаточно большого количества включений в наплавленном металле из-за неполного расплавления в сварочной ванне этих частиц шихты [11].

На сыпучесть порошкового материала, являющаяся комплексным показателем качества изготовленной шихты, влияют физико-химические свойства компонентов шихты. Сыпучесть определяют углом естественного откоса шихты. Угол откоса шихты, имеющей оптимальный фракционный состав, находится в пределах от 36 до 42°. В данном случае она обладает хорошей сыпучестью, достаточно хорошо перемешивается и хорошо заполняет металлическую оболочку порошковой проволоки [11].

– Дозировка компонентов согласно рецептуре шихты и последующее их перемешивание.

В качестве модификаторов, для изучения влияния наноматериалов на свойства наплавленного металла, в шихту было решено добавить вольфрам в виде нанопорошка в разном процентном соотношении и сравнить полученные порошковые проволоки между собой.

Нанопорошок — это твердое порошкообразное вещество искусственного происхождения, которое содержит нанобъекты, агрегаты или

агломераты нанообъектов, либо их смесь. Размер всех частиц этого порошка менее 100 нм [12].

Все нанопорошки находятся в аморфном состоянии. Аморфное состояние - это конденсированное состояние вещества, главным признаком которого является отсутствие атомной или молекулярной решетки. Аморфное тело изотропно и оно не имеет точки плавления. Если повышать температуру, оно размягчается и постепенно переходит в жидкое агрегатное состояние. Аморфные твердые тела, включая металлические, обладают вязкими и упругими свойствами. Также нанопорошки имеют наличие избыточной энергии, низкую температуру спекания и высокую химическую активность [12].

Нанопорошок W получают при помощи электрического взрыва проводников. Металлические проволоки диаметром 0,1-1,0мм устанавливают между электродами в реактор, на которые подается мощный импульс тока в пределах от 104 до 106 А/мм<sup>2</sup>. В этом процессе происходит мгновенный разогрев и дальнейшее испарение проволок. Пары металла разлетаются, охлаждаются и конденсируются. В результате этого и получается наноматериал. Данный процесс полностью проводят в атмосфере гелия или аргона. Этот метод получения порошковой проволоки относят к физическому, также существует химический, основанный на осаждении гидроксидов металлов из растворов солей при помощи осадителей, термическом разложении или восстановлении, и механический, при котором нанопорошок получают путем измельчения материалов в мельницах, гироскопических устройствах, аттриаторах и симолойерах [12].

Коэффициент заполнения:

Количество материала в сердечнике порошковой проволоки принято оценивать коэффициентом заполнения  $K_3$ , который определяется по формуле [13]:

$$K_3 = \left( \frac{g_m}{g_m + g_{\text{св}}} \right) \times 100\%, \quad (3.1)$$

где  $g_m$  – масса материала, закатанного в 1м проволоки;

$g_{об}$  – масса оболочки 1м проволоки.

$$K_3 = \left( \frac{17,03}{17,03+29,5} \right) \times 100\% = 40\%.$$

Очевидно, что для увеличения этого коэффициента необходимо разместить максимально возможное количество материала в сечении проволоки.

Для изготовления металлической оболочки проволоки была использована лента из стали СтЗсп, химический состав данной стали представлен в таблице 5, механические свойства в таблице 6.

Таблица 5 - ГОСТ 380-2005 Химический состав стали СтЗсп

| C    | Si    | Mn    | Ni  | S    | P    | Cr  | N     | Cu  | As      |
|------|-------|-------|-----|------|------|-----|-------|-----|---------|
| 0.14 | 0.15  | 0.4 - | До  | До   | До   | До  | До    | До  | До 0.08 |
| -    | - 0.3 | 0.65  | 0.3 | 0.05 | 0.04 | 0.3 | 0.008 | 0.3 |         |
| 0.22 |       |       |     |      |      |     |       |     |         |

Таблица 6 - ГОСТ 380-2005 Механические свойства стали СтЗсп

| Предел текучести, $\sigma_T$ ,<br>МПа | Временное<br>сопротивление $\sigma_B$ , МПа | Относительное<br>удлинение $\delta_5$ , % |
|---------------------------------------|---|---|
| 255                                   | 380-490                                     | 26  |

Углеродистая спокойная сталь обыкновенного качества марки СтЗсп выпускается по ГОСТ 380 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки».

Сталь СтЗсп используют при изготовлении горячекатаного сортового, фасонного, листового, широкополосного универсального проката, холоднокатаного тонколистового проката и гнутых профилей, предназначенных для строительных стальных конструкций со сварными и

другими соединениями, а также слитков, слябов, блюмов, сутунки, заготовки катаной и непрерывнолитой, поковок, труб и штамповок, лент, метизов и др.

Размеры ленты для изготовления проволоки заданного диаметра могут быть приняты по данным опытного изготовления или получены расчетным путем. Наиболее просто рассчитываются параметры ленты для проволок трубчатой конструкции.

Толщину ленты определяют из выражения [13]:

$$h_{\text{л}} = kd \left[ 1 - \sqrt{\frac{y_{\text{м}} \times K_3}{y_{\text{ш}} + K_3 \times (y_{\text{ш}} - y_{\text{м}})}} \right], \quad (3.2)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от суммарной деформации заготовки и равный 0,4 – 0,61;

$d$  — заданный диаметр готовой проволоки;

$K_3$  — коэффициент заполнения проволоки;

$y_{\text{м}}$  — удельный вес металла оболочки;

$y_{\text{ш}}$  — насыпной вес шихты.

$$h_{\text{л}} = 0,75 \cdot 3,2 \left[ 1 - \sqrt{\frac{7,82 \cdot 40}{17,03 + 40 \cdot (17,03 - 7,82)}} \right] = 0,24.$$

Полученную расчетом толщину ленты округляем до ближайшего меньшего значения, указанного в ГОСТ 503 – 71. Таким образом,  $h_{\text{л}}=0,2$  мм.

Ширину ленты определяют по формуле [13]:

$$b_{\text{л}} = (d_3 - h_{\text{л}}) \times \pi, \quad (3.3)$$

где  $d_3$  — диаметр заготовки проволоки обычно принимают равным 1,5 – 2 диаметра готовой проволоки;

$h_{\text{л}}$  — толщина ленты.

$$b_{\text{л}}=(2,5-0,2)*3,14=7,2.$$



Полученную расчетом ширину ленты округляют до ближайшего большего значения, указанного в ГОСТ 503 – 71. В таком случае  $b_{л}=8$  мм.

### 3.3 Сварочное оборудование и режимы сварки

Для наплавки порошковой проволоки на заготовленные образцы использовали аргонодуговой сварочный инвертор NYL TIG200P показанный на рисунке 4. Он предназначен для сварки стали, нержавейки, алюминия, титана и их сплавов. Особенностью TIG сварки является быстрый поджиг, стабильное поддержание дуги, ровный и аккуратный шов, отсутствие разбрызгивания металла и шлака. Температурный диапазон окружающего воздуха: во время эксплуатации: от -30 °С до +40 °С; при транспортировке и хранении: от -40 °С до +55 °С. Относительная влажность воздуха: до 50 % при 40 °С / до 90 % при 20 °С [14].



Рисунок 4 Аргонодуговой сварочный инвертор NYL TIG200P [15]

Основные технические характеристики данного аргонодугового сварочного инвертора приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики аргонодугового сварочного инвертора NYL TIG200P [15]

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Тип                          | инвертор  |
| Вид сварки                   | ручная дуговая (MMA)<br>аргонно-дуговая (TIG)                 |
| Ток сварки                   | постоянный  |
| Входное напряжение, В        | 220   |
| Потребляемая мощность, кВт   | 5.1 / MMA, 4.1 – TIG  |
| Напряжение холостого хода, В | 56  |
| Мин. ток сварки, А           | 10  |
| Макс. ток сварки, А          | 200 / TIG, 165 – MMA  |
| Мин. диаметр электрода, мм   | 1   |
| Макс. диаметр электрода, мм  | 4   |
| Дополнительно                | горячий старт (Hot Start)<br>защита от залипания (Anti-Stick) |
| Класс защиты (IP)            | 21  |
| Габариты (ВхШхГ), мм         | 355x218x440   |
| Вес, кг                      | 9   |

В качестве защитного газа используется аргон.

Аргон – это негорючим и невзрывоопасный газ. Он не образует взрывчатых смесей с воздухом. Так как аргон тяжелее воздуха, он является хорошей газовой защитой сварочной ванны. Согласно ГОСТ 10157-79 газообразный и жидкий аргон поставляется двух видов: высшего сорта (с объемной долей аргона не менее 99,993%, объемной долей водяных паров не

более 0,0009%) и первого сорта (с объемной долей аргона не менее 99,987%, объемной долей водяных паров не более 0,001%) (таблица 8) [16].

Таблица 8 – Состав Газообразного аргона, [16]

| Наименование показателя  | Норма                  |                       |
|--|------------------------|-----------------------|
|  | Высший сорт            | Первый сорт           |
| 1 Объемная доля аргона, %, не менее  | 99,993                 | 99,987                |
| 2 Объемная доля кислорода, %, не более   | 0,0007                 | 0,002                 |
| 3 Объемная доля азота, %, не более   | 0,005                  | 0,01                  |
| 4 Объемная доля водяных паров, %, не более, что соответствует температуре насыщения аргона водяными парами при давлении 101,3 кПа (760 мм рт.ст.), °С, не выше | 0,0009<br><br>Минус 61 | 0,001<br><br>Минус 58 |
| 5 Объемная доля суммы углеродсодержащих соединений в пересчете на, %, не более   | 0,0005                 | 0,001                 |

Аргон необходимо хранить и транспортировать в стальных цельнотянутых баллонах, соответствующих требованиям ГОСТ 949—57. В баллоне с давлением 150 ат содержится примерно 6 м<sup>3</sup> газообразного аргона. Баллон для хранения чистого аргона окрашен в нижней части в черный, а в верхней части — в белый цвет. На верхней части баллона черными буквами нанесена надпись «Аргон чистый». Аргон в основном получают из воздуха, в котором он содержится в сравнительно небольшом количестве (1,28% по массе). Производство аргона осуществляется на кислородных установках с аргонными приставками. В этих приставках сырой аргон очищается до требуемой степени чистоты от кислорода и азота [17].

## 4 Результаты проведенных исследований

### 4.1 Проведение испытаний и оценка результатов

Целью данной работы является исследование влияния нанопорошков в составе шихты порошковой проволоки на свойства наплавленного металла.

Для данного исследования были изготовлены 10 образцов порошковой проволоки, по 2 образца с добавлением нанопорошка вольфрама с увеличением его концентрации от 0,1%, до 0,5%. В ходе наплавки проволоки использовали следующую технологию: в аргонодуговой сварке неплавящимся электродом ручным способом подачи, присадочную проволоку подавали в хвостовую часть сварочной ванны. Порошковая проволока плавится в потоке перегретого жидкого металла сварочной ванны, направленного из-под дуги в хвостовую часть. Наноструктурированные порошки из расплавленной присадочной проволоки попадают в хвостовую часть сварочной ванны, не проходят дуговой промежутки, т.е. практически без потерь переходят в жидкий металл сварочной ванны, перемешиваются в ней и служат дополнительными центрами кристаллизации при образовании зерна микроструктуры наплавленного металла – модифицируют структуру наплавленного металла шва. Они не расплавляются в жидкой сварочной ванне в связи с их высокой температурой плавления. Увеличение количества центров кристаллизации в жидкой сварочной ванне приводит к образованию мелкодисперсной, однородной микроструктуры сварного соединения и позволяет активно управлять структурой наплавленного металла и механическими свойствами сварного соединения.

На рисунке 5 представлена схема способа сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов с введением присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны.

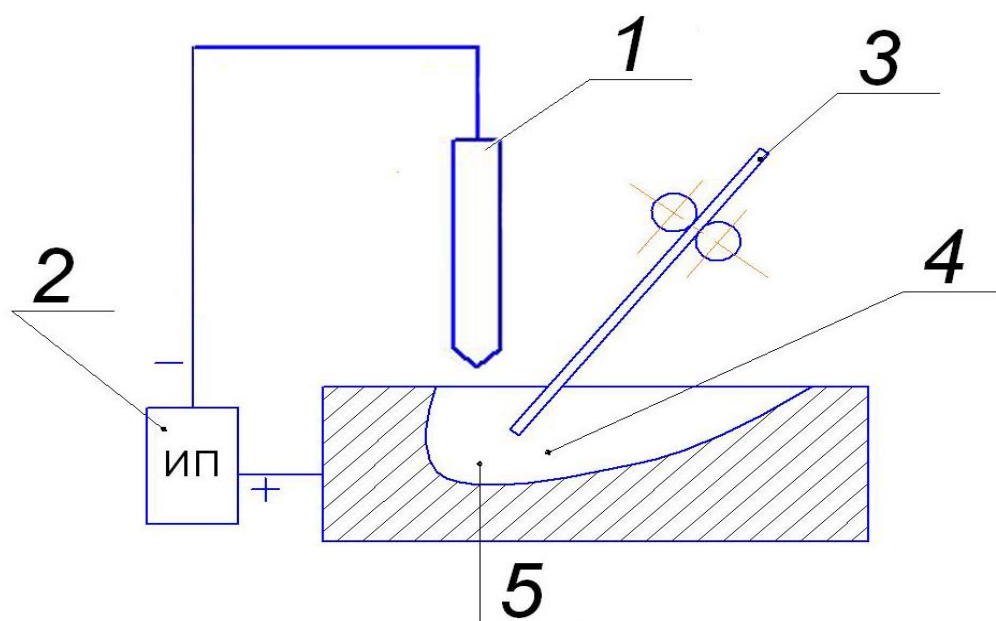


Рисунок 5 Схема способа механизированной сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов с введением присадочной проволоки в хвостовую часть сварочной ванны. 1 – неплавящийся электрод, 2 – источник питания; 3 – присадочная проволока, 4 – хвостовая часть сварочной ванны, 5 – перегретый жидкий металл сварочной ванны

Для изучения влияния нанопорошка в составе шихты порошковой проволоки на механические свойства наплавленного металла была определена твердость по Виккерсу на портативном твердомере комбинированного действия (рисунок 6). Точки в которых производились замеры твердости представлены на рисунке 7. Полученные данные приведены в таблице 9.



Рисунок 6 MET-УД - портативный комбинированный твердомер [18]

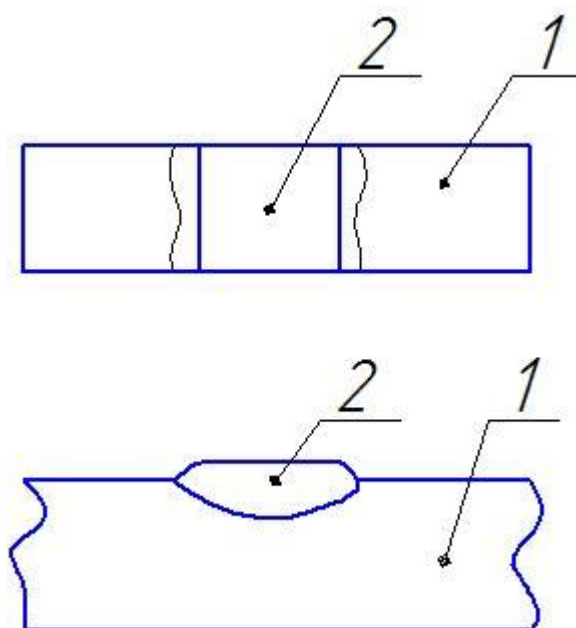


Рисунок 7 Точки в которых проводились замеры твердости.

1 – Основной металл, 2 – наплавленный валик.

Таблица 9 – замеры твердости наплавленных образцов

| Содержание<br>Вольфрама (%) | Твердость по Виккерсу (HV) |     |     |     |     |                     |
|-----------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|---------------------|
|                             | Номер испытания            |     |     |     |     | Среднее<br>значение |
|                             | 1                          | 2   | 3   | 4   | 5   |                     |
| Без вольфрама               | 127                        | 126 | 128 | 130 | 125 | 127,2               |
| 0,1                         | 737                        | 668 | 660 | 719 | 711 | 699                 |
| 0,3                         | 881                        | 836 | 818 | 833 | 856 | 844,8               |
| 0,5                         | 983                        | 906 | 890 | 923 | 940 | 928,4               |

На рисунке 8 представлен график зависимости твердости от содержания нанопорошка вольфрама в наполнителе.

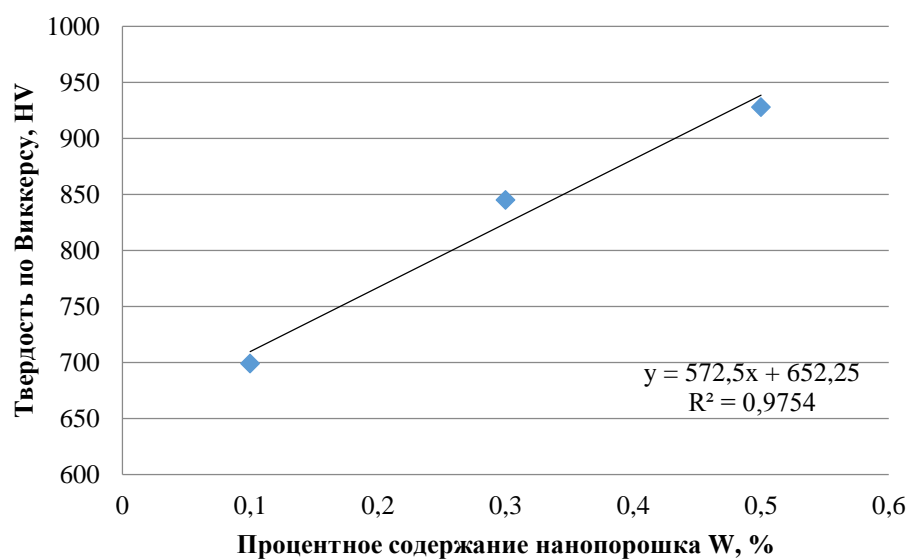


Рисунок 8 График зависимости твердости по Виккерсу от концентрации нанопорошка вольфрама

## 4.2 Заключение

1. В ходе выполнения данной работы была разработана порошковая проволока с добавлением металлических нанопорошков. В качестве нанопорошка использовался нанопорошок вольфрама (W). Основным наполнителем при изготовлении порошковой проволоки была шихта проволоки ПП-АН5, к которой добавлялись нанопорошки в ходе изготовления проволоки.

2. Для получения данной проволоки была спроектирована и сконструирована экспериментальная установка, позволяющая получать порошковую проволоку 2мм.

3. В результате было изготовлено пять образцов порошковой проволоки с разным содержанием нанопорошка вольфрама.

4. На изготовленных образцах порошковой проволоки были проведены исследования. В результате исследования производилась оценка влияния нанопорошка вольфрама на твердость металла и было выявлено, что при добавлении вольфрама, твердость значительно возрастает.

Экспериментально выявлено, что при добавлении наночастиц вольфрама в количестве 0,1% от массы шихты, твердость возрастает на 18%



Экономическая часть предназначена для экономической оценки производственного процесса.

### 5.1 Определение затрат на основные материалы

Себестоимость порошковой проволоки составляется из суммы стоимости металлической ленты для оболочки и стоимости шихты.

Расчет будет производиться на один метр порошковой проволоки.

Цена ленты из стали СтЗсп за кг составляет 30 рублей.

В порошковой проволоке используется металлическая лента шириной 10 мм и толщиной 4 мм. Зная плотность стали, которая равна  $\rho=7850$  кг/м<sup>3</sup>, можно рассчитать, сколько килограмм ленты необходимо для изготовления одного метра проволоки  $m_l$ :

$$m_l = \rho \cdot V, \quad (5.1)$$

где  $V$  - объем одного метра ленты.

$$m_l = 7850 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 0,004 = 0,314.$$

Теперь определяем цену стальной ленты для изготовления одного метра порошковой проволоки  $C_l$ :

$$C_l = m_l \cdot C_d, \quad (5.2)$$

где  $C_d$  – цена ленты за 1 кг.

$$C_l = 0,314 \cdot 30 = 9,42.$$

Стоимость шихты складывается из стоимости каждого, входящего в нее, компонента. В таблице 10 представлена цена каждой составляющей порошка. Стоимость нанопорошка вольфрама относительно остальных компонентов шихты в процентном соотношении представлена в таблице 11.

Таблица 10 – Стоимость компонентов шихты

| Компонент шихты      | Содержание компонентов шихты, % | Цена, руб./кг |
|----------------------|---------------------------------|---------------|
| Железная окалина     | 55                              | 1,6           |
| Рутиловый концентрат | 18                              | 3100          |
| Плавикошпатовый      | 7                               | 11            |
| Ферросилиций         | 8                               | 55            |
| Ферромарганец        | 10                              | 70            |
| Графит               | 1,7                             | 50            |
| Вольфрам             | 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5;        | 19550         |

Таблица 11 – Стоимость компонентов шихты в процентном отношении

| Компонент шихты      | Цена, руб. за 1 метр | Стоимость компонентов наполнителя в % |
|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Железная окалина     | 0,88                 | 0,14                                  |
| Рутиловый концентрат | 558                  | 94,4                                  |
| Плавикошпатовый      | 0,77                 | 0,13                                  |
| Ферросилиций         | 4,4                  | 0,74                                  |
| Ферромарганец        | 7                    | 1,18                                  |
| Графит               | 0,85                 | 0,14                                  |
| Вольфрам             | 19,55                | 3,3                                   |

Расчет стоимости одного килограмма шихты без нанопорошка Сш:

$$C_{ш} = (C_{ж.ок.} \cdot 0,55) + (C_{р.к.} \cdot 0,18) + (C_{п.ш.} \cdot 0,073) + (C_{ф.с.} \cdot 0,08) + (C_{ф.м.} \cdot 0,1) + (C_{г.} \cdot 0,017), \quad (5.3)$$

где  $C_{ж.ок.}$  - цена железной окалины, руб./кг;

$C_{р.к.}$  – цена рутилового концентрата, руб./кг;

$C_{п.ш.}$  – цена плавикового шпата, руб./кг;

$C_{ф.с.}$  – цена ферросилиция, руб./кг;

$C_{ф.м.}$  – цена ферромарганца, руб./кг;

$C_{г.}$  – цена графита, руб./кг.

$$C_{ш} = (1,6 \cdot 0,55) + (3100 \cdot 0,18) + (11 \cdot 0,073) + (55 \cdot 0,08) + (70 \cdot 0,1) + (50 \cdot 0,017) = 0,88 + 558 + 0,803 + 4,4 + 7 + 0,85 + 571,93.$$

Используя коэффициент заполнения  $K_3$  можно определить массу шихты в одном метре проволоки мш:

$$m_{ш} = \frac{K_3 \cdot m_l}{1 - K_3}, \quad (5.4)$$

где  $K_3 = 0,3$

$$m_{ш} = \frac{0,3 \cdot 0,314}{1 - 0,3} = 0,135.$$

Расчет стоимости шихты в одном метре проволоки  $C_{ш1}$ :

$$C_{ш1} = C_{ш} \cdot m_{ш} \quad (5.5)$$

$$C_{ш1} = 571,9 \cdot 0,135 = 76,97.$$

Зная стоимость шихты и оболочки на 1 м, можно определить себестоимость порошковой проволоки  $C_{пп}$ :

$$C_{пп} = C_{л} + C_{ш1} \quad (5.6)$$

$$C_{пп} = 9,42 + 76,97 = 86,39.$$

Стоимость 0,1% нанопорошка вольфрама от массы шихты в одном метре проволоки составляет 2,6 рублей. Стоимость 0,1% нанопорошка вольфрама в 1 кг шихты составляет 19,55 рублей.

В таблице 12 указана цена на изготовленную порошковую проволоку с разным процентным содержанием нанопорошка и без него.

Таблица 12 – Цена изготовленной порошковой проволоки

| Содержание нанопорошка | Цена, руб./м | Цена, руб./кг |
|------------------------|--------------|---------------|
| Вольфрам 0,1%          | 88,99        | 658,5         |
| Вольфрам 0,2%          | 91,59        | 677,76        |
| Вольфрам 0,3%          | 94,19        | 697           |
| Вольфрам 0,4%          | 96,79        | 716,24        |
| Вольфрам 0,5%          | 99,39        | 735,48        |
| Без нанопорошка        | 86,39        | 639,28        |

Для сравнения цен с уже имеющимися марками порошковых проволок, были выбраны проволоки аналогичного химического состава (за исключением нанопорошков): проволока сварочная порошковая флюсовая Sturm WW1001F, страна-производитель Китай; порошковая проволока E71T-GS Foxweld, страна-производитель Китай; проволока сварочная флюсовая QUATTRO ELEMENTI 770-377, страна-производитель Италия. Цены аналогов представлены в таблице 13. Сравнение цен на полученную проволоку ПП-АН5 и аналогов представлены на рисунке 9.

Таблица 13 – Цены аналогов порошковых проволок

| Марка проволоки          | Цена за 1 кг, руб. |
|--------------------------|--------------------|
| Sturm WW1001F            | 730                |
| E71T-GS Foxweld          | 700                |
| QUATTRO ELEMENTI 770-377 | 1030               |

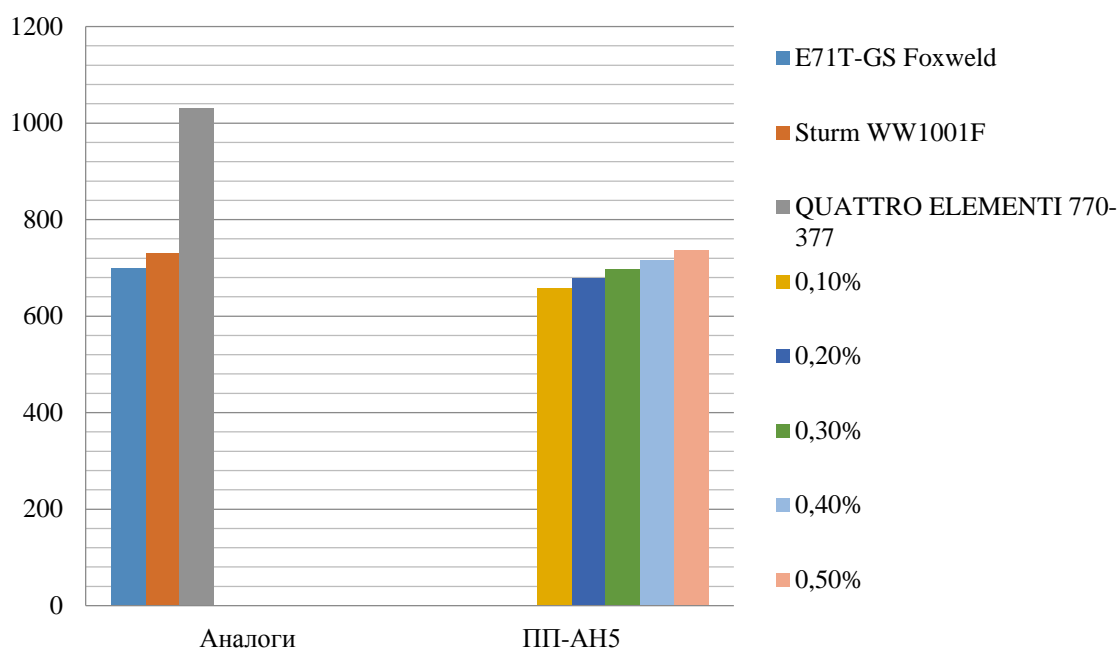


Рисунок 9 Сравнение цен порошковой проволоки с добавлением нанопрошка вольфрама и порошковых проволок, схожих по химическому составу.

## 5.2 Заключение

В результате проведенной работы нами рассчитана стоимость одного метра порошковой проволоки с добавлением наночастиц вольфрама (W), а также одного килограмма проволоки.

Исходя из данных таблицы 10, порошок вольфрама включает в себя 3,3% стоимости от всех компонентов в условиях экспериментального производства. Если производить порошковую проволоку ПП-АН5 с добавлением наночастиц вольфрама в серийном производстве, то стоимость метра проволоки уменьшится и такая проволока сможет конкурировать с аналогами на рынке.

## 6 Социальная ответственность

### 6.1 Описание рабочего места

Объектом исследования является лаборатория кафедры сварочного производства ЮТИ НИ ТПУ г.Юрги. Размеры лаборатории: длина – 13м, ширина – 6м, высота – 2,5м. Материал стен – кирпич, материал пола и потолка – бетон и бетонные плиты. Количество оконных проемов – 2 и дверных – 1. Лаборатория занимает площадь, равную 78м<sup>2</sup>.

Для исследований применялись образцы (пластины) из стали Ст3пс, аргонодуговой сварочный инвертор NYL TIG200P, порошковая проволока.

### 6.2 Анализ выявленных вредных факторов

Ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение сварочной дуги.

В производственной обстановке рабочие, находясь вблизи расплавленного или нагретого металла, горячих поверхностей подвергаются воздействию теплоты, излучаемой этими источниками. Лучистый поток теплоты оказывает негативное воздействие на рабочих, вызывая утомленность. Горение сварочной дуги сопровождается излучением видимых ослепительно ярких световых лучей и невидимых ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Видимые лучи ослепляют, так как яркость их превышает физиологическую переносимую дозу. Короткие ультрафиолетовые лучи даже при кратковременном воздействии могут вызвать электроофтальмию. Инфракрасные лучи главным образом обладают тепловым эффектом.

Для защиты глаз и лица сварщиков используются специальные щитки и маски. Для защиты глаз от ослепляющей видимой части спектра излучения, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей в очках и масках должны

применяться защитные светофильтры. Марка светофильтра выбирается в зависимости от силы сварочного тока. Рекомендуется использование светофильтров из темного стекла ЭЗ, С4.

#### Производственный шум

Источниками шума в лаборатории служит источник тока и треск при проведении сварочных работ. Шум неблагоприятно воздействует на работающего: ослабляет внимание, увеличивает расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляет скорость психических реакций, в результате снижается производительность труда и ухудшается качество работы.

Для защиты органов слуха от шума рекомендуется использовать противозумные наушники [18].

#### Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

При сварочных работах воздушная среда на участке загрязняется сварочными аэрозолями, в состав которых могут входить оксиды марганца, хрома, цинка и кремния, фтористые соединения, а также газы (оксиды углерода и азота, озон) и пыль. Эти вещества оказывают неблагоприятное воздействие на организм работающего.

Образующийся при сварке аэрозоль характеризуется очень мелкой дисперсностью – более 90% частиц, скорость витания частиц меньше 0,1 м/с.

Источником выделения вредных веществ также может быть краска, грунт или покрытие, находящиеся на кромках свариваемых деталей и попадающие в зону сварки. Для уменьшения выделения вредных веществ поверхности свариваемых деталей должны при необходимости зачищаться от грунта и покрытия по ширине не менее 20 мм. от места сварки.

Каждое рабочее место оборудуется вытяжной вентиляцией, которая производит отбор загрязненного воздуха из рабочей зоны. Подвижность воздуха в зоне сварки должна быть 0,2-0,5 метров в секунду [19].

### 6.3 Анализ выявленных опасных факторов

Малая освещенность.

Малая освещенность отрицательно сказывается на точности, качестве работ и производительности. Исследования показывают, что при хорошем освещении производительность труда повышается примерно на 15 %.

Электрический ток.

В данной лаборатории используется сварочное оборудование. Его работа осуществляется при подключении к сети переменного тока с напряжением 380В. Общие требования безопасности к производственному оборудованию предусмотрены ГОСТ 12.1.030-81.

В лаборатории применяются искусственные заземляющие устройства, которые состоят из заземлителей и заземляющих проводников. Заземлители представляют собой стальные трубы диаметром 50...70 мм с толщиной стенок 3...5 мм, либо стержни из угловой стали размером 50x50x5 мм, забиваемые в землю на глубину 2...2,5 м с шагом, равным их длине, так, чтобы их верхние части были под поверхностью земли на глубине 0,5...0,8 м. Сопротивление заземляющих устройств не должно превышать 4 Ом [20].

Термические ожоги.

Термические ожоги возникают вследствие непосредственного контакта с раскаленным металлом сварочной ванны, электрической дугой и пламенем газовой горелки. Для предотвращения термических ожогов кожного покрова необходимо использовать индивидуальные средства защиты.

Маска из фибры защищает лицо, шею от брызг расплавленного металла и вредных излучений сварочной дуги.

Спецодежда – костюм и брюки, а также рукавицы, изготавливаются из брезента и служат для защиты тела и рук от брызг сварки и теплового



излучения. Для защиты ног сварщиков используют специальные ботинки, исключающие попадание искр и капель расплавленного металла.

Для защиты рук от брызг и лучистой энергии применяют брезентовые рукавицы со специальной противопожарной пропиткой.

#### Пожаро-взрывобезопасность

Пожаро-взрывобезопасность производства определяется показателями пожаро-взрывоопасности веществ и материалов и их агрегатным состоянием. К этим показателям относится группа горючести, температура вспышки, воспламенения и самовоспламенения, условия теплового самовозгорания [21].

### 6.3.1 Обеспечение требуемого освещения в лаборатории

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95.

Исследования показывают, что при хорошем освещении производительность труда повышается примерно на 15 %.

При освещении помещений используют естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода), искусственное освещение (создаваемое электрическими источниками света) и совмещенное освещение (при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным).

К числу источников света, выпускаемых нашей промышленностью, относятся лампы накаливания, люминесцентные лампы и лампы ртутные.

Основными показателями, определяющими выбор светильника при проектировании осветительной установки, следует считать: конструктивное исполнение светильника с учетом условий среды, светораспределение светильника и его экономичность.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняют методом коэффициента использования светового потока [22].

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

где  $\Phi$  – световой поток каждой из ламп, лм;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E=300$ лк для общего освещения;

$k$  – коэффициент запаса,  $k=1,5$  для помещений с малым выделением пыли;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z=0,9$  для светильников с люминисцентными лампами;

$n$  – число ламп в помещении;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока,  $\eta=47\%$ .

Отсюда:

$$n = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot \eta}. \quad (6.2)$$

Для светильников типа ОД с лампой ЛБ  $\Phi=7445$  лм.

Площадь проектируемого участка составляет 78м<sup>2</sup>.

$$n = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 78 \cdot 0,9}{0,47 \cdot 7445} = 9,08. \quad (6.3)$$

Принимаем количество светильников, равным  $n=9$  шт.

Согласно проведенным расчетам, система освещения лаборатории КСП должна состоять из 9 двухламповых светильников типа ОД с люминисцентными лампами ЛБ мощностью 125 Вт, что соответствует количеству светильников в лаборатории [22].

### 6.3.2 Обеспечение оптимальных параметров микроклимата в лаборатории. Вентиляция и кондиционирование

Благоприятные (комфортные) метеорологические условия на производстве являются важным фактором в обеспечении высокой производительности труда и в профилактике заболеваний [23].

Параметры микроклимата определены в санитарных нормах и правилах СанПиН 2.2.4.548-96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [24].

Параметры микроклимата: температура воздуха; влажность воздуха; скорость движения воздуха в помещениях; барометрическое давление; тепловое (инфракрасное) излучение от нагретых поверхностей.

Все рассмотренные выше параметры микроклимата должны соответствовать действующим санитарно-гигиеническим нормам.

Оптимальные нормы микроклимата следующие:

В холодный и переходный период года:

- температура  $17 \div 20$  °C;
- относительная влажность –  $60 \div 40$  %;
- скорость движения воздуха – 0,3 м/с.

В теплое время года:

- температура  $20 \div 22$  °C;
- относительная влажность –  $60 \div 40$  %;
- скорость движения воздуха – 0,4 м/с.

На данный момент в лаборатории фактические параметры микроклимата соответствуют параметрам микроклимата в теплое время года.

Одним из основных мероприятий по оптимизации параметров микроклимата является обеспечение надлежащего воздухообмена.

Вентиляция – это система воздухообмена для удаления производственных вредностей и создания в рабочей зоне воздушной среды,

отвечающей санитарным нормам. Она используется для борьбы с избыточным теплом, влагой, вредными газами, парами и пылью.

Кондиционирование – наиболее совершенный вид промышленной вентиляции; он предназначен для создания наиболее оптимальных метрологических условий в производственных помещениях. Кондиционирование воздуха – это его автоматическая обработка с целью поддержания в производственных помещениях заранее заданных параметров микроклимата не зависимо от их изменения с наружи и технологических режимов внутри помещения. Кондиционеры могут быть местными (для обслуживания отдельных помещений) и центральные (для обслуживания нескольких отдельных помещений) [24].

### 6.3.3 Разработка методов защиты от вредных и опасных факторов

Нормативными документами по защите от поражения электротоком при проведении электросварочных работ являются «Правила устройства электроустановок», «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», «Инструкция по выполнению сетей заземления электроустановок». Все помещения делятся по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса:

I - без повышенной опасности;

II - с повышенной опасностью;

III - особо опасные.

ГОСТ 12.3.003-75 «Работы электросварочные. Общие требования безопасности» определяет следующий перечень основных видов средств защиты от поражения электрическим током: устройства оградительные, автоматического контроля и сигнализации, защитного заземления и зануления, автоматического отключения, выравнивания потенциалов и понижения

напряжения, дистанционного управления; изолирующие устройства и покрытия; предохранительные устройства; знаки безопасности [25].

Для предотвращения ожогов от разбрызгивания расплавленного металла, имеются средства индивидуальной защиты показанные в таблице 14.

Таблица 14 – Средства индивидуальной защиты

| Наименование средств индивидуальной защиты     | Документ, регламентирующий требования к средствам индивидуальной защиты |
|--|---|
| Костюм брезентовый для сварщика                | ТУ 17-08-327-91   |
| Ботинки кожаные                                | ГОСТ 27507-90   |
| Рукавицы брезентовые (краги)                   | ГОСТ 12.4.010-75  |
| Перчатки диэлектрические                       | ТУ 38-106359-79   |
| Щиток защитный для э/сварщика типа НН-ПС 70241 | ГОСТ 12.4.035-78  |
| Куртка х/б на утепляющей прокладке             | ГОСТ 29.335-92  |

Для защиты рук от брызг и лучистой энергии применяют брезентовые рукавицы со специальной противопожарной пропиткой.

Во избежание затекания раскаленных брызг костюмы должны иметь гладкий покррой, а брюки необходимо носить навыпуск.

Защита от движущихся механизмов [26].

#### 6.4 Охрана окружающей среды

Охрана воздушной среды. Очистка загрязнённого воздуха и отходящих газов, выделяющихся при технологических процессах и выбрасываемых в

атмосферу, от содержащихся в них вредных твёрдых, жидких и газообразных примесей является основным способом охраны воздушной среды от загрязнения.

Для очистки выбрасываемого из лаборатории воздуха в окружающую среду достаточно производить улавливание пыли, аэрозолей и газообразных примесей из загрязнённого воздуха. В системе вентиляции предусмотрена установка с масляным фильтром EF-3000-4-4.6с. для очистки выбрасываемого воздуха от загрязнений. Для этого используют масляные фильтры. Пыль, проходя через лабиринт отверстий (вместе с воздухом), образуемых кольцами или сетками, задерживается на их смоченной масляным раствором поверхности. По мере загрязнения фильтра кольца и сетки промывают в содовом растворе, а затем покрывают масляной плёнкой. Эффективность фильтров данного типа составляет 95-98 %.

В лаборатории основными отходами являются отходы твердых материалов (шлак, электроды и электродная проволока). Существует два пути утилизации металлических отходов: с переплавом и без переплава. В случае утилизации без переплава отпадает необходимость в переработке, но происходит загрязнение почв и растёт площадь свалок, выделяемых для сброса отходов производства.

При способе с переплавом металлические отходы переплавляются и появляется возможность использования отходов в дальнейшем производстве. Это приводит к повышению эффективности производства, а также снижается уровень загрязнения окружающей среды, так как не требуется выделять площади под свалки, а металл используется практически стопроцентно.

## 6.5 Защита в чрезвычайной ситуации

Порядок подготовки населения в области защиты от ЧС утвержден постановлением Правительства РФ от 24.07.95г. №738.

В настоящее время существует два основных направления ликвидации вероятности возникновения и последствий ЧС на промышленных объектах.

Первое направление заключается в разработке технических и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность реализации опасного поражающего потенциала современных технических систем.

Второе направление заключается в подготовке объекта, обслуживающего персонала, служб ГО и населения к действиям в условиях ЧС. Основой этого направления является формирование планов действий в ЧС.

Документом, в котором отражены характер и масштабы опасностей на конкретном промышленном объекте и выработанные мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и готовности к действиям в техногенных ЧС, является декларация безопасности промышленного объекта, которая разрабатывается организацией собственными силами и включает: общую информацию об объекте; анализ опасности промышленного объекта; обеспечение готовности промышленного объекта к локализации и ликвидации ЧС; информирование общественности; ситуационный план объекта [27].

Пожарная безопасность предусматривает такое состояние объекта, при котором исключалось бы возникновение пожара, а в случае его возникновения предотвращалось бы воздействие на людей опасных факторов пожара и обеспечивалась защита материальных ценностей.

В лаборатории применяют следующие средства пожаротушения:

- огнетушитель углекислотный ОУ-2 для тушения лакокрасочных материалов и электрооборудования под напряжением (до 1000 В)– 1шт.;
- песок (в ящике) для тушения электроустановок под напряжением.

## 6.6 Заключение

В результате проведенной работы нами были выявлены вредные и опасные факторы, имеющие место на данном участке. Были использованы следующие методы защиты от влияния этих факторов:

- в лаборатории сварки лампы накаливания старого образца шумят, в связи с этим предлагаю заменить старые лампы накаливания на новые;
- в место вытяжного шкафа использовать вытяжной зонд - готовое решение вопроса фильтрации воздуха в лаборатории. Система может быть оснащена сепаратором для удаления дыма и крупнодисперсной пыли.



## Заключение

Изучен литературный материал, имеющийся по аналогичным темам, с целью определения актуальности данной работы.

Разработана и сконструирована установка для изготовления порошковой проволоки диаметром 2мм.

Изготовлены образцы порошковой проволоки с добавлением в шихту нанопорошков вольфрама.

Установлено, что с увеличением концентрации нанопорошка вольфрама в шихте порошковой проволоки на 0,1%, происходит увеличение твердости наплавленного металла на 18%.

## Список использованных источников

1. Сварка и родственные технологии в освоении космоса и мирового океана. 21 век. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.nkj.ru/archive/articles/7461/> Дата обращения - 01.10.2017. – Загл.с экрана.
2. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург. Уро. РАН, 1998. – 199 с.
3. 4. А.А. Мазур, О.К. Маковецкая, С.В. Пустовойт, Н.С. Бровченко Порошковые проволоки на мировом и региональных рынках сварочных материалов. Автоматическая сварка 5 - 6 2015., с. 68 – 74.
4. Нанопорошки сегодня и завтра [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.sciencecluster.ru/PressReleasesciencecluster/PressReleaseShow.asp?ID=4905> Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
5. Нанопорошки и методы их получения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.portalnano.ru/read/prop/pro/materials/functional/4cosmos/nanoporoshki> Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана.
6. Производство и применение нанопорошков [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat\\_id=394&d\\_no=1338&print=1](http://www.nanorf.ru/science.aspx?cat_id=394&d_no=1338&print=1) Дата обращения - 21.11.2017. – Загл.с экрана
7. М. А. Кузнецов, Е. А. Зернин. Нанотехнологии и наноматериалы в сварочном производстве: Текстовая версия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fconf.sfu-kras.ru%2Fuploads%2FOlenev%2520P.S.doc&name=%20P.S.doc> Дата обращения - 08.12.2017. – Загл.с экрана

8. В. Б. Литвиненко-Арьков, Г. Н. Соколов, А. В. Букин. Влияние нанопорошка карбонитрида титана на структуру и свойства термостойкого наплавленного металла [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.rusnauka.com/10\\_DN\\_2012/Tecnic/1\\_106871.doc.htm](http://www.rusnauka.com/10_DN_2012/Tecnic/1_106871.doc.htm) Дата обращения - 10.04.2018. – Загл.с экрана

9. Д.С. Карцев, Е.А. Зернин. Применение наноразмерных частиц тугоплавких соединений при сварке и наплавке порошковой проволокой [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15005> Дата обращения - 11.12.2017. – Загл.с экрана

10. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200052847> Дата обращения - 19.01.2018. – Загл.с экрана

11. Исследование микроструктуры, химической неоднородности и оптимизации гранулометрического состава шихты порошковой проволоки // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msd.com.ua/svarka-i-naplavka-alyuminiya-i-ego-splavov/issledovanie-mikrostruktury-ximicheskoy-neodnorodnosti-i-optimizacii-granulometricheskogo-sostava-shixty-poroshkovoj-provoloki/> Дата обращения - 21.02.2018. – Загл.с экрана

12. Щукин Е.Д. Коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 2004 – 445с.

13. Сварка порошковой проволокой // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://books.google.ru/books?id=vqb6AgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false> Дата обращения - 05.03.2018. – Загл.с экрана

14. Паспорт и руководство пользователя TIG 200P // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://сваркацентр.рф/files/attachment\\_files/512\\_file/pasport\\_profi\\_TIG200P\\_ACD\\_C\\_TIG315P\\_ACDC\\_27\\_10\\_15\\_pdf.pdf?1448010236](http://сваркацентр.рф/files/attachment_files/512_file/pasport_profi_TIG200P_ACD_C_TIG315P_ACDC_27_10_15_pdf.pdf?1448010236) Дата обращения - 15.03.2018. – Загл.с экрана

15. Сварочный инвертор NYL TIG-200P H26 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tesla->

set.com.ua/tovary/welding\_equipment/welding\_inverters/hyl-tig-200p-h26      Дата обращения - 04.04.2018. – Загл.с экрана

16. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200140735> Дата обращения - 15.04.2018. – Загл.с экрана

17. ГОСТ 949-73 Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на  $P(p) = 19,6$  МПа (200 кгс/кв.см) // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://markmet.ru/gost/gost-949-73> Дата обращения - 15.04.2018. – Загл.с экрана

18. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=838](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=838) Дата обращения - 16.04.2018. – Загл.с экрана

19. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> Дата8. – Загл.с экрана

20. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=663](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=663) Дата обращения - 15.04.2018. – Загл.с экрана

21. ГОСТ 12.0.003-74 / Опасные и вредные производственные факторы // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/4/4650/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/4/4650/index.htm) Дата обращения - 21.04.2018. – Загл.с экрана

22. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение // [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.vashdom.ru/snip/2305-95/> Дата обращения - 01.05.2018. – Загл.с экрана

23. Расчеты по обеспечению комфорта и безопасности: учебное пособие. В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 155 с.

24. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений застройки // [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://www.ntm.ru/control/37/6956> Дата обращения - 12.05.2018. – Загл.с экрана

25. ГОСТ 12.3.003-75 «Работы электросварочные. Общие требования безопасности» // [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/97/162.htm> Дата обращения - 18.05.2018. – Загл.с экрана

26. Реферат: Обеспечение комфортности жизнедеятельности людей, как способ повышения уровня их защищенности // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://works.tarefer.ru/9/100082/index.html> Дата обращения - 21.05.2018. – Загл.с экрана

27. О порядке подготовки населения в области защиты от чрезвычайных ситуаций// [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102036779&rdk=&backlink=1> Дата обращения - 21.05.2018. – Загл.с экрана

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)  
Юргинский технологический институт (филиал) федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ЮТИ ТПУ)

**Направление подготовки (специальность) 15.01.03 «Оборудование и технология сварочного производства»  
Кафедра «Сварочное производство»**

# Разработка состава сварочной порошковой проволоки, содержащей нанодисперсные компоненты

Автор:

Д.Е. Гусаров

Руководитель:

Е.А. Зернин

г. Юрга 2018 г.

## Актуальность работы

Придание прежних или же получение новых, более высоких прочностных и эксплуатационных характеристик, повышения ресурса и эксплуатационной надежности возможно с применением наноразмерных материалов. Поскольку использование наноразмерных материалов в производстве мало изучено, то актуальностью работы стоит вопрос о использовании нанопорошков при получении сварочных материалов, а именно, при изготовлении порошковой проволоки

# Цель и задачи исследований

## Цель работы:

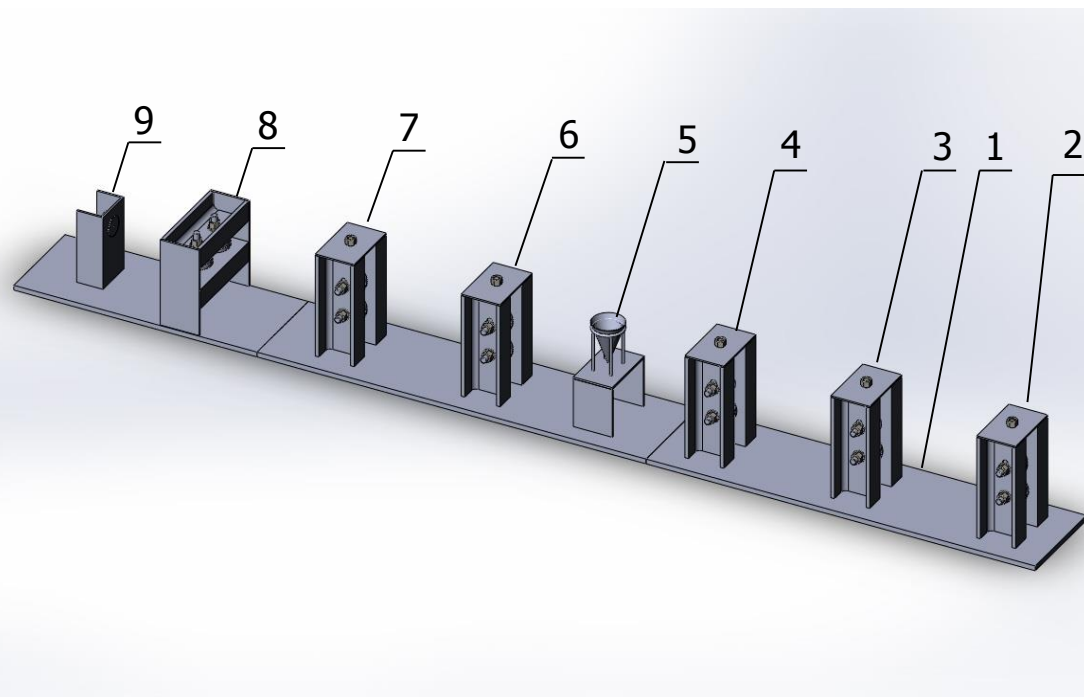
1. Определить влияние нанопорошков на свойства наплавленного металла.

## Задачи:

1. Разработать и изготовить конструкцию для получения порошковой проволоки
2. Изготовить экспериментальный образец порошковой проволоки
3. Экспериментально исследовать влияние нанопорошка на твердость наплавленного металла



# Компоновочная схема установки для изготовления порошковой проволоки



Состав установки:

- 1) Основание
- 2) Профилегибочная клетка №1
- 3) Профилегибочная клетка №2
- 4) Профилегибочная клетка №3
- 5) Дозатор
- 6) Профилегибочная клетка №4
- 7) Профилегибочная клетка №5
- 8) Поджимающая клетка
- 9) Фильтра

Рисунок 1 конструкция для изготовления порошковой проволоки

# Этапы формирования порошковой проволоки

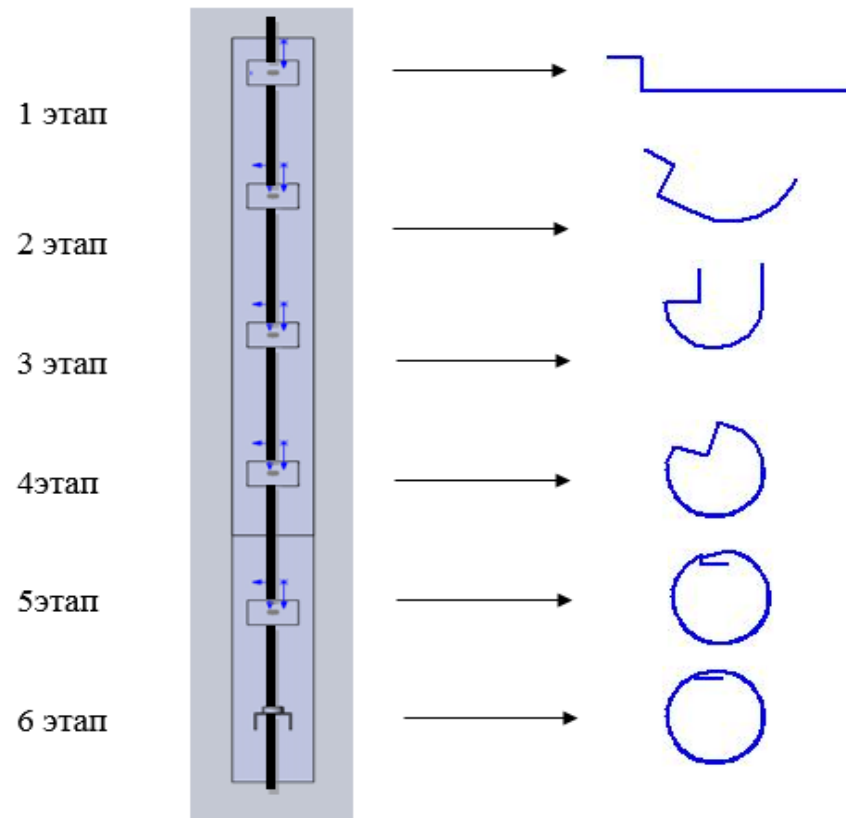


Рисунок 2 Этапы формирования ленты порошковой проволоки на  
изготовленной установке

# Компонентный состав проволоки с добавлением вольфрама

| Компонент шихты      | Содержание компонента<br>шихты наполнителя, масс.<br>% |
|----------------------|--|
| Железная окалина     | 55   |
| Рутиловый концентрат | 18   |
| Плавикошпатовый      | 7  |
| Ферросилиций         | 8  |
| Ферромарганец        | 10   |
| Графит               | 1,7  |
| Вольфрам             | 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5.                               |

Гранулометрический состав порошков, который входит в шихту, находится в пределах 0,125 - 0,3 мм.

Таблица 1 – Компонентный состав проволоки с  
добавлением W, %

# Схема сварки и макрошлифы

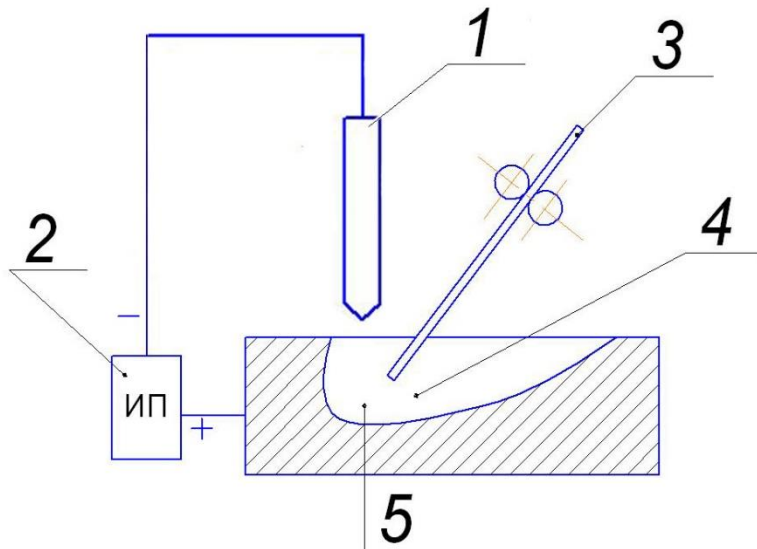
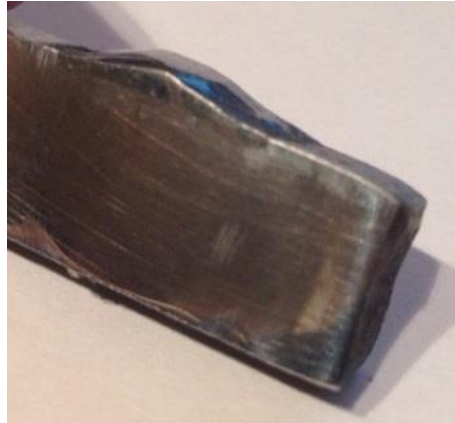
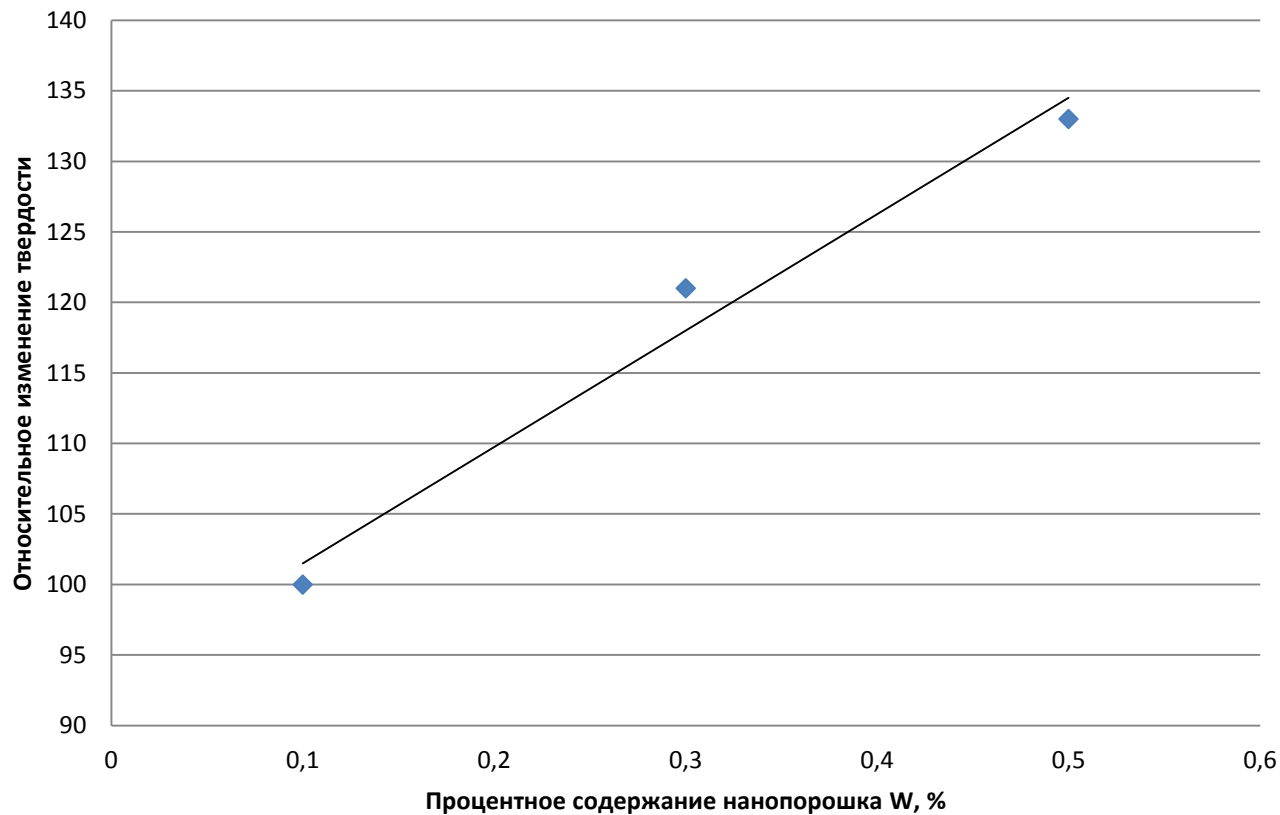


Рисунок 3 Схема способа сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов: 1 – неплавящийся электрод, 2 – источник питания; 3 – присадочная проволока, 4 – хвостовая часть сварочной ванны, 5 – перегретый жидкий металл сварочной ванны

## Влияние нанопорошка на твердость наплавленного металла



Уравнение зависимости  
 $y = 82,5x + 93,25$

Величина достоверности  
аппроксимации  
 $R^2 = 0,9758$

Рисунок 4 График зависимости предела прочности от  
процентного содержания нанопорошка вольфрама

## Основные выводы по работе

- Разработана и сконструирована установка для изготовления порошковой проволоки диаметром 2мм.
- Изготовлены образцы порошковой проволоки с добавлением в шихту нанопорошков вольфрама.
- Установлено, что с увеличением концентрации нанопорошка вольфрама в шихте порошковой проволоки на 0,1%, происходит увеличение твердости наплавленного металла на 18%.

# Апробация работы



**Благодарю за внимание!**